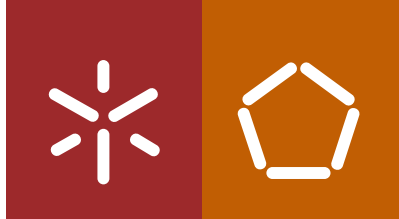




Rosa Maria Alves Carmo

Aspetos Materiais da Construção em Xisto
em Portugal
Material Issues of Schist Construction in
Portugal

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rosa Maria Alves Carmo

Aspetos Materiais da Construção em Xisto
em Portugal
Material Issues of Schist Construction in
Portugal

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Daniel Vitorino Castro Oliveira
Professor Doutor Aires Fernando Camões de Azevedo

Novembro de 2012

Agradecimentos

Expresso aqui, os meus mais sinceros agradecimentos a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. Contudo não posso deixar de dar uma grande relevância neste agradecimento:

- Ao professor Daniel Oliveira por todo o tempo disponibilizado, pelas conversas, orientação, conhecimentos transmitidos, críticas, leituras e sugestões para a realização desta dissertação.
- Ao professor Aires Camões pela disponibilidade e leitura.
- Ao aluno de doutoramento Ricardo Barros pela disponibilidade, ajuda nos ensaios, apoio bibliográfico, leituras e sugestões para abordar conteúdos importantes desta dissertação.
- Aos técnicos do laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho pela ajuda e esclarecimento em aspetos relacionados com os ensaios efetuados.
- Aos meus pais que sempre me apoiaram e que proporcionaram a minha chegada até aqui e também à restante família, nomeadamente, aos meus irmãos, que embora longe, sempre demonstraram preocupação.
- Ao meu namorado, Leonel, pelo apoio e força que me deu para enfrentar todos os obstáculos, pela disponibilidade e ajuda no AutoCad e pela compreensão demonstrada perante a minha menor disponibilidade durante a realização desta dissertação.

Resumo

A investigação deste trabalho centra-se na caracterização dos aspetos materiais e estruturais das construções em xisto em Portugal justificada devido à quase inexistência de informação bibliográfica na área. O facto do património português construído em xisto ser rico e extenso, no entanto desconhecido, torna esta investigação necessária para se proceder à conservação e reabilitação deste património de forma adequada. Assim no âmbito desta investigação pretende-se estudar as características físicas e mecânicas de xistos provenientes de 5 regiões de Portugal. Para tal foram efetuados os ensaios de caracterização mais adequados para a pedra natural como são exemplo os ensaios de absorção de água à pressão atmosférica, absorção de água por capilaridade, velocidade de propagação dos ultrassons, resistência à compressão, resistência à carga de ponta e resistência à cristalização de sais. Em cada um destes ensaios será determinada uma propriedade que permitirá avaliar o xisto de cada região e ao mesmo tempo puder fazer comparações da mesma propriedade entre os vários tipos em análise. A relação que os ensaios podem ter entre si também será outro aspeto avaliado.

Palavras-Chave: Xisto; Ensaio de caracterização; Comportamento material

Abstract

The research done within this work focuses on the characterization of the materials and structural aspects of building in schist in Portugal and it is important to be performed due to the almost inexistence of literature in this field. The fact that the Portuguese built heritage in schist is rich and extensive, however unknown, makes this research necessary for the conservation and rehabilitation of these constructions. So, this research intends to study the physical and mechanical characteristics of schist from 5 regions of Portugal. For such, the most appropriate tests will be made for characterization of natural stone such as the water absorption at atmospheric pressure, water absorption by capillary action, ultrasound, compressive strength, resistance to point load and resistance to crystallization of salts. In each of these tests a property that will evaluate the schist in each region will be computed and at the same time comparisons between the various properties types for analysis will be done. The relationship that the tests may have to each other will also be evaluated.

Key-Words: Schist; characterization tests; Material Behavior

ÍNDICE

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto	1
1.2 Motivação e objetivos	3
1.3 Descrição da tese	3
Capítulo 2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 Geologia.....	5
2.1.1 Rochas existentes na crosta terrestre	5
2.1.2 Rochas Metamórficas	6
2.1.3 Unidades morfoestruturais da Península Ibérica	10
2.1.4 Xisto	12
2.2 Tipologias construtivas e danos na construção em xisto em Portugal.....	15
2.2.1 Introdução	15
2.2.2 Tipologias construtivas em xisto em Portugal.....	16
2.2.3 Danos principais na construção em xisto em Portugal	18
2.3 Ensaios executados por diversos autores	21
2.3.1 Introdução	21
2.3.2 Ensaios realizados na região Nordeste de Portugal	21
2.3.3 Ensaios realizados na região das Beiras	24
Capítulo 3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MATERIAL	27
3.1 Introdução	27
3.2 Determinação da absorção de água à pressão atmosférica	29
3.2.1 Geometria e provetes	29
3.2.2 Equipamento e procedimento do ensaio	30
3.2.3 Resultados experimentais	30
3.2.4 Discussão dos resultados	31

3.3	Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade.....	33
3.3.1	Geometria e provetes	33
3.3.2	Equipamento e procedimento do ensaio	33
3.3.3	Resultados experimentais.....	34
3.3.4	Discussão dos resultados.....	38
3.4	Determinação da velocidade de propagação de ultrassons	40
3.4.1	Geometria e provetes	42
3.4.2	Equipamento e procedimento.....	42
3.4.3	Resultados experimentais.....	43
3.4.4	Discussão dos resultados.....	44
3.5	Determinação da resistência à compressão	45
3.5.1	Geometria e provetes	46
3.5.2	Equipamentos e procedimentos do ensaio	46
3.5.3	Resultados experimentais.....	47
3.5.4	Discussão dos resultados.....	50
3.6	Determinação do índice de carga de ponta.....	52
3.6.1	Geometria e provetes	54
3.6.2	Equipamento e procedimento do ensaio	54
3.6.3	Resultados experimentais.....	55
3.6.4	Discussão dos resultados.....	57
3.7	Determinação da resistência à cristalização de sais	58
3.7.1	Geometria e preparação dos provetes	59
3.7.2	Equipamento e procedimento do ensaio	59
3.7.3	Resultados experimentais.....	59
3.7.4	Discussão dos resultados.....	61
Capítulo 4 COMPARAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS.....		65

4.1	Relação entre a resistência à compressão e o índice de carga de ponta.....	66
4.2	Relação entre a resistência à compressão e a absorção de água à pressão atmosférica 69	
4.3	Relação entre a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade	71
4.4	Relação entre a resistência à compressão e a velocidade de propagação de ultrassons 73	
4.5	Relação entre a resistência à compressão e a resistência à cristalização de sais	76
4.6	Relação entre a carga de ponta e a absorção de água à pressão atmosférica	79
4.7	Relação entre a carga de ponta e a absorção de água por capilaridade.....	81
4.8	Relação entre a carga de ponta e a velocidade de propagação de ultrassons.....	83
4.9	Relação entre a carga de ponta e a resistência à cristalização de sais.....	86
4.10	Relação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a absorção de água à pressão atmosférica.....	88
4.11	Relação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a absorção de água por capilaridade.....	91
4.12	Relação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a resistência à cristalização de sais94	
4.13	Relação entre a absorção de água à pressão atmosférica e a absorção de água por capilaridade	99
4.14	Relação entre a absorção de água à pressão atmosférica e a resistência à cristalização de sais100	
4.15	Relação entre a absorção de água por capilaridade e a resistência à cristalização de sais 103	
4.16	Síntese dos ensaios.....	105
Capítulo 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....		107
5.1	Considerações finais	107
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	109
Bibliografia.....		111
ANEXOS.....		117

Índice de figuras

Figura 1.1 - Mapa Litológico de Portugal (http://fauufpa.wordpress.com).	2
Figura 1.2 – (a) Bélgica; (b) Nova Zelândia; (c) França; (d) Itália; (e) Portugal e (f) Estados Unidos.....	2
Figura 2.1 – Graus de metamorfismo crescente (Blyth e Freitas, 1984).	7
Figura 2.2 - (a) Xistosidade com orientação paralela regular; (b) Xistosidade com orientação paralela prismática (Blyth e Freitas, 1984).	8
Figura 2.3 – Algumas das principais texturas das rochas metamórficas: a) Textura granoblástica; b) Textura granolepidoblástica; c) Textura granonemotoblásticas; d) Textura porfiroblástica; e) Textura porfiroclástica (Kornprobst, 2003).	9
Figura 2.4- Unidades Morfoestruturais da Península Ibérica (Aires-Barros, 2001).	11
Figura 2.5- Unidades Morfoestruturais em Portugal (www.snirh.pt).	11
Figura 2.6 – Xisto.	12
Figura 2.7 - Tipos de xistos: (a) Xisto mosqueado; (b) Micaxisto; (c) Xisto Verde;	13
Figura 2.8- Aldeias de xisto em diferentes regiões (outeirobrg.com.sapo.pt).	15
Figura 2.9 - Tipologias da construção em xisto: (a) Construção em xisto com a parede arredondada; (b) Habitações em xisto encostadas e com planta irregular; (c) Construção com xisto e granito; (d) Típica construção com escadas até ao 1º piso (outeirobrg.com.sapo.pt). ..	18
Figura 2.10- Possibilidade de intervenção: (a) Passado; (b) Presente (Lourenço, 2007).	19
Figura 2.11 – Erosão de xisto em habitações de Trás-os-Montes (Barros, 2009).	21
Figura 3.1- Regiões de Portugal para as quais foi realizado o estudo.	28
Figura 3.2 - Provetes imersos durante o ensaio de absorção.	30
Figura 3.3 – Absorção de água à pressão atmosférica para as várias regiões.	31
Figura 3.4 - Absorção dos provetes ao longo do tempo.	32
Figura 3.5 – Provetes das regiões em estudo durante o ensaio de absorção de água por capilaridade.	33
Figura 3.6 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela aos planos de anisotropia em provetes de Vila Nova de Foz Côa.	36
Figura 3.7- Absorção de água por capilaridade na direção normal à foliação em provetes de Vila Nova de Foz Côa.	36

Figura 3.8 – Absorção de água por capilaridade na direção paralela aos planos de anisotropia em provetes de Vila Nova de Foz Côa.....	37
Figura 3.9 - Comparação entre os resultados da direção normal e paralela à anisotropia em provetes: a) Vila Nova de Foz Côa; b) Serra de Arga.	37
Figura 3.10 - Comparação entre os resultados da direção normal e paralela à anisotropia em provetes: a) Carrazedo de Montenegro; b) Sobral de São Miguel.	38
Figura 3.11 - Comparação entre os resultados da direção normal e paralela à anisotropia em provetes de Barqueiros.....	38
Figura 3.12 – Aparelho de ultrassons.....	41
Figura 3.13 - Tipo de transmissões: a) transmissão direta; b) transmissão semi-direta; c) transmissão indireta (Adaptação de EN12504-4).	41
Figura 3.14 – Aparelho utilizado no ensaio de ultrassons.	42
Figura 3.15 – Comparação de resultados da direção normal e paralela aos planos de anisotropia para o ensaio de ultrassons.	44
Figura 3.16 – Provetes cúbicos: (a) carga perpendicular aos planos de anisotropia; (b) carga paralela aos planos de anisotropia. Provetes cilíndricos: (c) carga perpendicular aos planos de anisotropia; (d) carga paralela aos planos de anisotropia (EN NP 1926- 2000).	46
Figura 3.17 - Ensaio de resistência à compressão uniaxial.....	47
Figura 3.18 - Comparação de resultados de resistência à compressão na direção normal e paralela aos planos de anisotropia.....	48
Figura 3.19 – Rotura típica nos provetes das diferentes regiões.....	49
Figura 3.20 – Requisitos sobre as formas dos provetes: a) teste diametral; b) teste axial; c) teste do bloco e d) teste do bloco irregular (Adaptação de ISRM).	53
Figura 3.21 – Modos de rotura típicos válidos e não validos (Adaptação de ISRM).	54
Figura 3.22 – Aparelho de ensaio de carga de ponta.	54
Figura 3.23 - Comparação de resultados da direção normal e paralela aos planos de anisotropia para o ensaio de carga de ponta.....	56
Figura 3.24 - Comparação dos resultados do ensaio de resistência à cristalização de sais das várias regiões.....	60
Figura 3.25 – Provetes de Sobral de São Miguel divididos em fragmentos após o ensaio.....	61
Figura 3.26 – Estado inicial e final de um provete de cada região.	62
Figura 4.1 - Correlação entre os resultados de carga de ponta e de resistência à compressão na direção normal e paralela, respetivamente.	67

Figura 4.2 – Correlação entre a resistência à compressão e a absorção de água à pressão atmosférica na direção normal e paralela, respetivamente.	70
Figura 4.3 - Correlação entre a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela, respetivamente.	72
Figura 4.4 – Correlação entre os resultados de ultrassons e de resistência à compressão na direção: (a) normal, (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2	75
Figura 4.5 – Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de resistência à compressão na direção normal e paralela, respetivamente.	77
Figura 4.6 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de resistência à compressão nas duas direções sem consideração de Sobral de São Miguel.	78
Figura 4.7 - Correlação entre os resultados de absorção de água à pressão atmosférica e de carga de ponta na direção normal e paralela, respetivamente.	81
Figura 4.8 - Correlação entre os resultados de absorção de água por capilaridade e de carga de ponta na direção normal e paralela, respetivamente.	83
Figura 4.9 – Correlação entre os resultados de velocidade de propagação de ultrassons e de carga de ponta na direção: (a) normal. (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2	85
Figura 4.10 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de carga de ponta na direção normal e paralela, respetivamente.	87
Figura 4.11 – Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de carga de ponta nas duas direções, sem consideração de Sobral de São Miguel.	87
Figura 4.12 - Correlação entre os resultados de absorção de água à pressão atmosférica e da velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal, (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2	90
Figura 4.13 - Correlação entre os resultados de absorção de água por capilaridade e da velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal, (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2	93
Figura 4.14 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2	97
Figura 4.15 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal, (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2 , sem a consideração de Sobral de São Miguel.	98
Figura 4.16 - Correlação entre os resultados de absorção de água por capilaridade e de absorção de água à pressão atmosférica na direção normal e paralela, respetivamente.	100

Figura 4.17 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de absorção de água à pressão atmosférica.....	102
Figura 4.18- Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e absorção de água à pressão atmosférica, sem consideração de Sobral de São Miguel.	102
Figura 4.19 – Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de absorção por capilaridade na direção normal e paralela, respetivamente.	104
Figura 4.20 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de absorção de água por capilaridade, sem consideração de Sobral de São Miguel.....	105

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Classificação para rochas metamórficas (Adaptação de Blyth e Freitas, 1984)..	13
Tabela 2.2 - Análise química dos xistos nas 3 zonas em estudo (Noronha et al., 2010).....	23
Tabela 2.3 - Propriedades físicas e mecânicas do xisto nas 3 zonas em estudo (Noronha et al., 2010).....	23
Tabela 3.1 - Ensaio em estudo e respetivas sigla.....	29
Tabela 3.2 – Sigla, símbolo e cor correspondente a cada região.....	29
Tabela 3.3 – Resultados obtidos através do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica.	31
Tabela 3.4 – Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de absorção por capilaridade.....	35
Tabela 3.5 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de ultrassons.	43
Tabela 3.6 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão.	48
Tabela 3.7 – Tensão de rotura (Búrcio, 2004).....	51
Tabela 3.8 – Classes de resistência à compressão uniaxial propostas pela BGD (Adaptação de ISRM, 1981).....	52
Tabela 3.9 – Classificação de resistência à compressão média dos provetes de xisto das regiões em estudo.	52
Tabela 3.10 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de carga de ponta.....	55
Tabela 3.11 – Descrição do modo de rotura verificado para os provetes de SM.	56
Tabela 3.12 – Classificação da resistência da carga pontual (Adaptação de Franklin e Broch, 1972).....	57
Tabela 3.13 – Classificação qualitativa da resistência do índice de carga de ponta.....	58
Tabela 3.14 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de cristalização de sais.	60
Tabela 4.1 – Valores médios do ensaio de carga de ponta e da resistência à compressão.	66
Tabela 4.2 – Equação de regressão e coeficientes para ajuste linear e exponencial (Adaptação de Tziailas et al., 2009).....	68
Tabela 4.3 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão e de absorção de água à pressão atmosférica.....	69
Tabela 4.4 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão e de absorção de água por capilaridade.....	71
Tabela 4.5 - Valores médios da resistência à compressão e de velocidade de propagação de ultrassons.	73

Tabela 4.6 - Valores médios do ensaio de cristalização de sais e da resistência à compressão.	76
Tabela 4.7 – Fatores condicionantes na correlação do ensaio de resistência à compressão com o de resistência à cristalização de sais.	79
Tabela 4.8 - Valores médios do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica e da carga de ponta.	80
Tabela 4.9 - Valores médios do ensaio de absorção de água por capilaridade e de carga de ponta.	81
Tabela 4.10 – Valores médios de velocidade de propagação de ultrassons e de carga de ponta.	83
Tabela 4.11 - Valores médios do ensaio de resistência à cristalização de sais e de carga de ponta.	86
Tabela 4.12 - Valores médios do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica e a velocidade de propagação de ultrassons.	88
Tabela 4.13 - Valores médios do ensaio de absorção de água por capilaridade e de velocidade de propagação de ultrassons.	91
Tabela 4.14 - Valores médios de resistência à cristalização de sais e da velocidade de propagação de ultrassons.	94
Tabela 4.15 - Valores médios de absorção de água por capilaridade e de absorção de água à pressão atmosférica.	99
Tabela 4.16 - Valores médios de resistência à cristalização de sais e de absorção de água à pressão atmosférica.	100
Tabela 4.17 - Valores médios de resistência à cristalização de sais e de absorção de água por capilaridade.	103
Tabela 4.18 – Coeficientes de correlação obtidos na relação entre os ensaios em estudo, na direção normal e paralela.	106
Tabela A.1 - Resultados do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica.	117

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

O trabalho presente tem como objetivo o estudo dos aspetos materiais e estruturais das construções em xisto em Portugal, uma vez que a informação sobre este tipo de rocha metamórfica é extremamente escassa. Contudo, existem inúmeras construções distribuídas pelo país, tornando-se importante estudar as propriedades físicas e mecânicas deste material construtivo.

“Desde a antiguidade que a construção de abrigos permanentes para o Homem evoluiu progressivamente até aos edifícios e está associada à alvenaria na maior parte das civilizações” (Lourenço e Sousa, 2002). Segundo estes autores, a alvenaria com pedra natural vem desde a antiguidade associada às construções permanentes para o Homem. No caso do xisto, este era aplicado nas paredes de alvenaria quase exclusivamente nas suas formas naturais de extração. Assim sendo, o estudo do xisto e das construções existentes torna possível a avaliação das características desta pedra tanto a nível regional como a nível nacional, ou seja, poder-se-ão quantificar as diferentes propriedades em xistos da mesma região e em xistos de regiões diferentes do país. Na Figura 1.1 é possível observar as regiões do país onde se pode encontrar xisto.

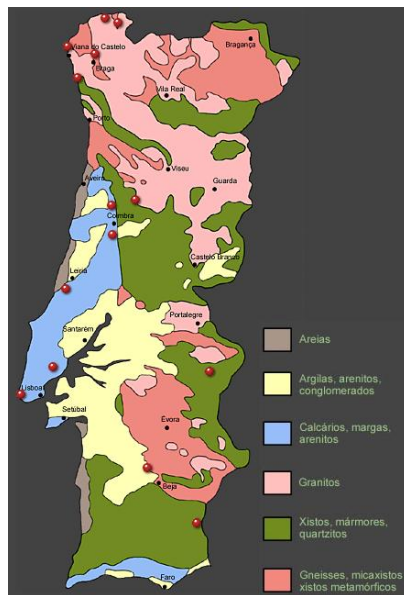


Figura 1.1 - Mapa Litológico de Portugal (<http://fauufpa.wordpress.com>).

Embora o trabalho de investigação que se realizou nesta dissertação se remeta apenas para as construções em xisto em Portugal, é importante salientar que esta rocha é empregue em construções em vários países do mundo como a Bélgica, Nova Zelândia, França, Itália, Estados Unidos da América, etc. como se pode observar na Figura 1.2.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 1.2 – (a) Bélgica; (b) Nova Zelândia; (c) França; (d) Itália; (e) Portugal e (f) Estados Unidos.

1.2 Motivação e objetivos

O património arquitetónico português construído em xisto é rico e vasto, mas virtualmente desconhecido do meio técnico e da sociedade. Desta forma, torna-se necessário caracterizar este tipo de construções para a posterior definição de planos de conservação e reabilitação adequados. Com este trabalho, pretende-se fazer um levantamento bibliográfico sumário da construção em xisto existente em Portugal e proceder à caracterização experimental do material, através da realização de ensaios em laboratório. Serão igualmente realizados ensaios experimentais para avaliar a resistência estrutural.

1.3 Descrição da tese

Na primeira parte deste trabalho (Capítulo 2) afigura-se o estado da arte onde é feita uma caracterização geológica de Portugal bem como do património construído, dando ênfase às rochas metamórficas pois é neste grupo que se encontra o xisto. Através destas caracterizações é possível identificar as várias regiões onde esta pedra é utilizada e quais as construções feitas nestas. A identificação dos fatores de degradação natural desta pedra é também abordada neste capítulo, o qual é colmatado com a apresentação de dois estudos já efetuados sobre as características dos xistos de regiões diferentes (Trás-os-Montes e Beiras).

No Capítulo 3 deste trabalho são apresentadas as regiões onde foram recolhidos os provetes de xisto bem como os principais ensaios a que estes são submetidos. Apresenta-se posteriormente, uma breve descrição de cada um dos ensaios realizados bem como os resultados obtidos a partir destes para as diferentes regiões e a sua análise. Desta forma poder-se-á caracterizar estruturalmente o xisto utilizado nas construções das diversas regiões assim como a alterabilidade a que este está sujeito quando se encontra em ambientes mais agressivos.

No Capítulo 4 o estudo centra-se em estabelecer a relação entre os diferentes ensaios realizados. Esta relação é feita de uma forma qualitativa e quantitativa. Na primeira são avaliados os fenómenos físicos dos provetes das diferentes regiões enquanto, na segunda são tidos em consideração os valores obtidos para os respetivos ensaios em correlação.

Por fim, no Capítulo 5 discute-se as considerações gerais, onde é possível visualizar os aspetos mais relevantes do estudo tanto na fase dos ensaios como na relação entre estes. Também neste capítulo se analisam alguns dos trabalhos futuros que se poderão desenvolver a

partir do estudo do xisto, colmatando algumas das análises já efetuadas e por outro lado desenvolvendo mais estudos.

Capítulo 2

ESTADO DA ARTE

2.1 Geologia

2.1.1 Rochas existentes na crosta terrestre

As rochas são um agregado natural formado por um ou mais minerais constituintes da crosta terrestre. Relativamente à génese, as rochas podem ser classificadas por três grandes tipos: as rochas magmáticas, as sedimentares e as metamórficas (Moreira, 2008).

As rochas magmáticas são assim designadas porque resultam do arrefecimento e consolidação do magma proveniente de regiões profundas da Terra. O arrefecimento e consolidação do magma pode ocorrer dentro da crosta terrestre, onde se encontra rodeado por outras formações, formando as rochas intrusivas como é o caso do granito ou à superfície originando as rochas extrusivas como é o caso do basalto (Costa, 1985).

As rochas sedimentares são rochas que se formam devido à acumulação de materiais de outras rochas que lhes precederam, que foram sendo meteorizadas naturalmente, originando um novo material constituído por um conjunto de partículas soltas ou endurecidas. Após a ação da diagénese este material é transformado em rochas sedimentares (Marques, 2006).

Por último, as rochas metamórficas são o tipo de rocha resultante da transformação das rochas preexistentes, tal acontece quando esta se encontra num ambiente onde as condições físicas são bastante diferentes daquelas onde se formou (Moreira, 2008). A natureza dos minerais deste tipo de rocha demonstra que a recristalização é produzida abaixo da superfície da crosta, logo a temperaturas e pressões relativamente elevadas (Kornprobst, 2003).

No subcapítulo seguinte este tipo de rocha encontra-se definida com maior detalhe.

2.1.2 Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas são um tipo de rochas que se formam devido à metamorfose de rochas sedimentares ou rochas magmáticas, sofrendo alterações na sua composição mineralógica devido às condições de temperatura e pressão onde se encontram inseridas. Estas condições de temperatura podem ocorrer a uma maior ou menor profundidade da litosfera. Quando esta transformação acontece origina-se uma nova rocha, cujas propriedades físicas e mecânicas se encontram alteradas bem como a sua comparação mineralógica.

Este processo descrito acima designa-se por metamorfismo, sendo responsável por alterações na textura, na estrutura e nos minerais que constituem a rocha, modificando as suas propriedades. Esta modificação pode melhorar algumas propriedades mas também podem diminuir a resistência da rocha (Johnson e De Graff, 1988). É importante salientar que os principais fatores que condicionam o metamorfismo são:

- Pressão litostática;
- Temperatura;
- Tempo;
- Composição mineral da rocha.

Na Figura 2.1 apresentam-se alguns tipos de rochas metamórficas que são definidas tendo em consideração a temperatura e a pressão. O filito é o tipo de rocha metamórfica que no seu processo metamórfico apresenta igualmente baixas temperaturas e pressões. Enquanto, no xisto são verificadas temperaturas e pressões igualmente moderadas. O caso do gnaiss também deve ser mencionado uma vez que contrariamente aos dois tipos de rochas apresentados tem elevadas temperaturas e pressões.

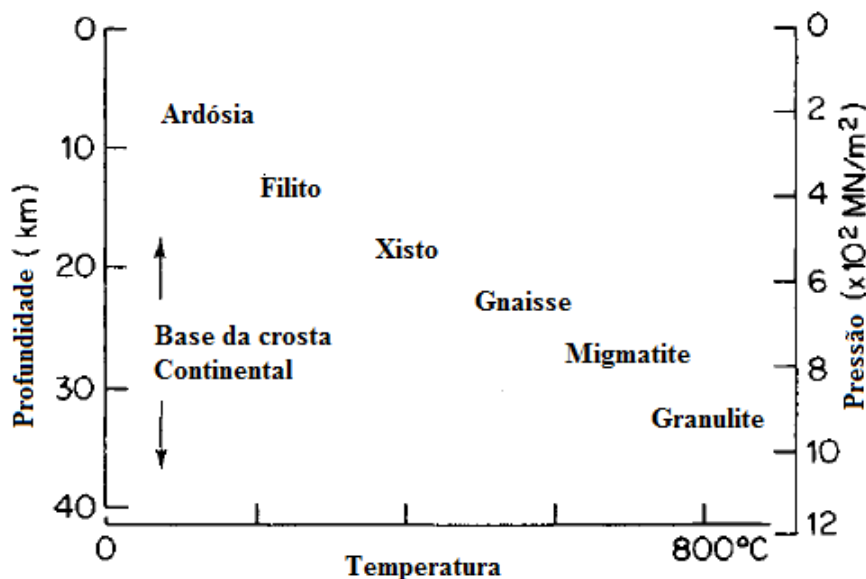


Figura 2.1 – Graus de metamorfismo crescente (Blyth e Freitas, 1984).

No que se refere ao processo de metamorfismo podem distinguir-se 4 tipos: o metamorfismo de contacto, regional, dinâmico ou geotermal.

O metamorfismo de contacto ou térmico provem da ação da temperatura produzida pelas intrusões magmáticas nas rochas preexistentes como: rochas sedimentares, metamórficas ou magmáticas. O calor proveniente do magma intrusivo provoca nas rochas em seu redor várias alterações, nomeadamente alterações mineralógicas, formando-se novos minerais. De referir que a pressão das camadas subjacentes sobre a rocha preexistente também pode ter influência na recristalização, não sendo no entanto muito importante falar neste fator pois o metamorfismo não ocorre a grandes profundidades e como é um processo mais relacionado com a temperatura não sofre grandes deformações mecânicas (Marques et al, 2006).

O metamorfismo regional ou dinamotérmico é o tipo de metamorfismo que ao contrário do de contacto, se processa a grandes profundidades e a grandes extensões na crosta terrestre e acontece normalmente em locais de atividade tectónica onde se formam as montanhas. Neste, além da temperatura, a pressão tem muita influência. Quando as rochas são formadas devido a este tipo de metamorfismo tem fácil identificação pois são quase sempre foliadas, demonstrando deste modo que foram sujeitas a diferentes pressões durante a recristalização. É através deste tipo de metamorfismo que se originam rochas metamórficas bastante conhecidas como o xisto anfibolítico, o xisto verde, o gnaiss e o filito (Marques et al, 2006).

O metamorfismo dinâmico ou cataclástico tem como fator determinante o atrito nas faixas adjacentes às linhas de falha. Neste tipo de metamorfismo a temperatura não tem grande importância, enquanto a pressão tem um papel fundamental.

O metamorfismo geotermal também designado por metamorfismo burial ou de confinamento, acontece devido ao peso dos sedimentos sob as camadas inferiores levando a alterações na textura.

Após ocorrência de um destes tipos de metamorfismo apresentados e como já foi referido, há alterações na rocha inicial quer a nível da textura, da estrutura e da mineralógica devido à subida da temperatura e às pressões a que as rochas estão sujeitas em profundidade.

Segundo Blyth e Freitas (1984), e tendo em consideração os fatores enunciados atrás, muitas destas rochas adquirem uma orientação paralela que dá às rochas texturas características: a orientação da textura produzida pelos minerais colunares é designada de xistosidade; a alteração de camadas xistosas com outras menos xistosas dá uma textura em banda conhecida como foliação. Na Figura 2.2 observa-se, no que se refere à xistosidade, que esta pode ser paralela regular, prismática, etc.

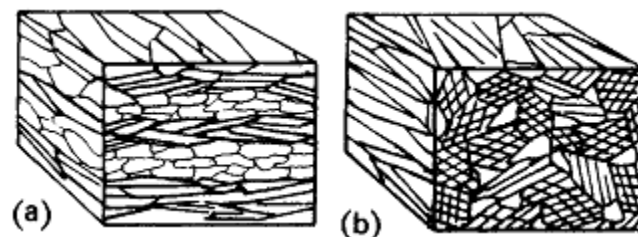


Figura 2.2 - (a) Xistosidade com orientação paralela regular; (b) Xistosidade com orientação paralela prismática (Blyth e Freitas, 1984).

Segundo Bell (2007) a influência da pressão torna-se menor com o aumento da temperatura e assim a xistosidade tende a desaparecer em rochas de alto grau de metamorfismo. Por outro lado, a foliação torna-se uma característica mais significativa.

As foliações ou xistosidades podem ser bem visíveis a olho nu, ou apenas ao microscópio. Isto acontece devido ao grau de metamorfismo que pode ocorrer. Certas rochas metamórficas diminuem a sua capacidade de se dividirem em lâminas, segundo os planos de foliação, devido ao aumento do grau de metamorfismo.

No entanto, as texturas apresentadas não são as únicas existentes neste tipo de rocha, existem vários tipos (ver Figura 2.3): textura gnáissica, quando a sua identificação é dada pela orientação paralela de minerais escuros mesmo estes sendo de difícil reconhecimento (Costa, 1985); granoblástica quando os cristais tem aproximadamente o mesmo tamanho (Blyth e Freitas, 1984), estes apresentam-se poligonais e orientados para darem origem a uma foliação por achatamento dos grãos; lepidoblástica quando predominam muitos filossilicatos com minerais lamelares como é o caso das micas e da clorite, são dispostos paralelamente à xistosidade (Kornprobst, 2003); nemotoblástica, quando existe a preponderância de minerais como as anfíbolas (Carvalho, 1997); granolepidoblásticas e granonemotoblásticas quando existe um misto de texturas pois são formadas pela associação de bandas centrimétricas ricas em minerais lamelares que alternam com bandas ricas em quartzo e feldspato (tudo isto na mesma rocha) (Kornprobst, 2003); cataclástica quando é visível o esmagamento dos minerais existentes; milonítica quando se apresenta a situação extrema da textura cataclástica (Carvalho, 1997); pórfiroblástica quando se apresentam cristais bastante desenvolvidos rodeados por cristais menos desenvolvidos na mesma rocha (Blyth e Freitas, 1984). Os mais comuns de se observar são a andaluzite, a granada, a estauroilite, etc, (Carvalho, 1997) e por fim a porfiroclástica, a qual é utilizada para descrever a presença de cristais pré-cinemáticos deformados de tamanho grande.

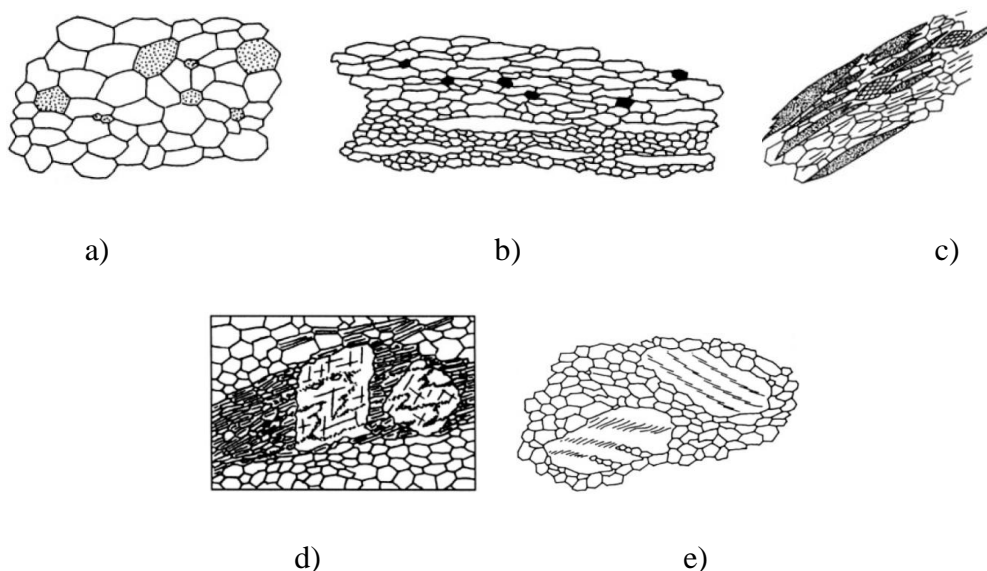


Figura 2.3 – Algumas das principais texturas das rochas metamórficas: a) Textura granoblástica; b) Textura granolepidoblástica; c) Textura granonemotoblásticas; d) Textura porfiroblástica; e) Textura porfiroclástica (Kornprobst, 2003).

A formação de novos minerais acontece devido à recristalização que resulta da subida da temperatura e das pressões (Blyth e Freitas, 1984). A forma cristalina do mineral dá indicações sobre o seu desenvolvimento, nomeadamente a velocidade da sua transformação perante os fatores de metamorfismo já referidos. Dos minerais presentes nas rochas metamórficas e cuja importância é primordial podem destacar-se os seguintes: quartzo, feldspatos, biotite, moscovite, anfíbolos, calcite, clorite, talco, serpentina, dolomite, piroxenas, etc. De salientar que apesar das rochas metamórficas terem minerais exclusivos, existem outros que são também comuns a algumas rochas sedimentares e magmáticas (Carvalho, 1997) e (Costa, 1989).

Segundo Blyth e Freitas (1984), a disposição dos constituintes minerais e a textura dos elementos de uma rocha são úteis, pois permitem observar a orientação preferencial dos minerais das rochas, nomeadamente nas rochas metamórficas. Alguns tipos destas rochas têm a particularidade de terem minerais cuja orientação é paralela, sendo muitas vezes muito bem desenvolvida, e as quais tem a designação de rochas anisotrópicas (como por exemplo os xistos). Estas apresentam diferentes valores para as propriedades, nas diferentes direções (Harrison et al., 2000). No entanto, a maior parte das rochas existentes são isotrópicas pois não há uma disposição ordenada dos seus componentes (Blyth e Freitas, 1984).

2.1.3 Unidades morfoestruturais da Península Ibérica

A Península Ibérica é constituída na sua parte central e ocidental por uma grandiosa unidade morfoestrutural, designada de Maciço Antigo ou Maciço Hespérico. Este abrange cerca de sete décimos do território nacional. As demais unidades morfoestruturais que fazem parte da Península Ibérica encontram-se distribuídas à volta deste maciço como é possível visualizar na Figura 2.4 (Brito, 2002).

Portugal continental encontra-se situado na maior unidade morfoestrutural que existe na Península Ibérica, a qual se denomina de Maciço Antigo. Esta vem desde Espanha até ao nosso país ocupando assim todo o Minho e Trás-os-Montes e uma grande parte das Beiras e do Alentejo, como é possível observar na Figura 2.4. Estas formam um conjunto aplanado de troços onde se encontram geologicamente presentes rochas magmáticas e metamórficas nomeadamente xistos, granitos e quartzitos (Brito, 2002) e (Noronha et al., 2010).

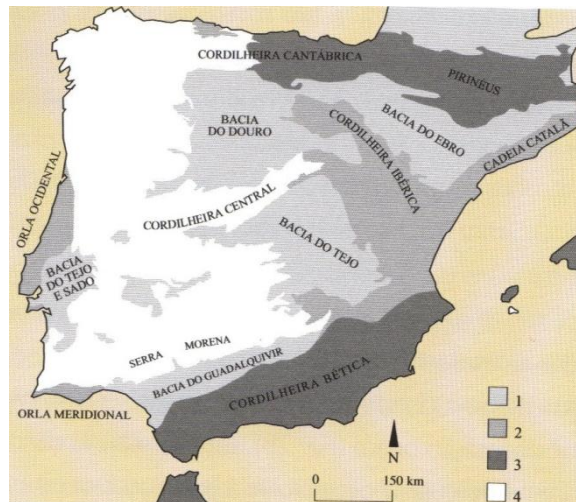


Figura 2.4-Unidades Morfoestruturais da Península Ibérica (Aires-Barros, 2001).

Como se pode observar na Figura 2.4, Portugal não se encontra apenas no Maciço Antigo. A constituir o nosso país existem mais 3 unidades morfoestruturais: a Bacia Cenozoica do Tejo e do Sado e as Orlas Sedimentares da qual fazem parte a orla Meridional e a Ocidental (ver Figura 2.5), nestas as rochas que predominam são essencialmente rochas sedimentares e os calcários e margas, respetivamente (Marques et al., 2006).

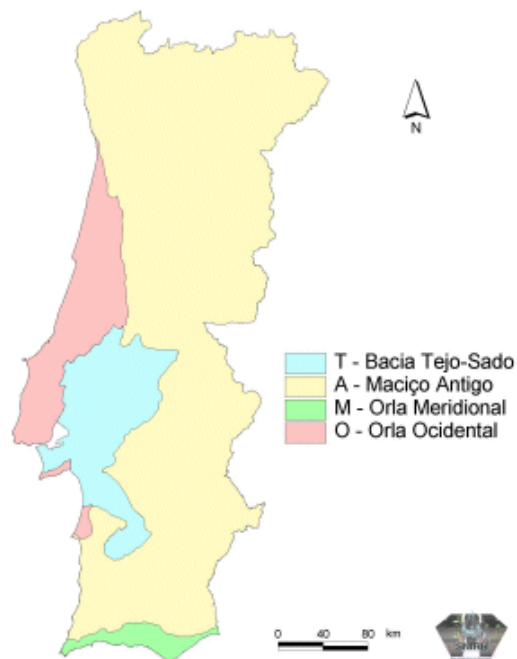


Figura 2.5- Unidades Morfoestruturais em Portugal (www.snirh.pt).

Como já foi referido, o território português encontra-se dominado na sua maioria pelo Maciço Antigo no qual prevalecem os granitos e os xistos, daí ser visível a grande quantidade de construções antigas com estes tipos de rochas. De salientar que estas não se encontram distribuídas de igual forma pelas várias regiões que englobam o Maciço. Os granitos apresentam uma maior incidência na região do Minho, na região de Trás-Os-Montes o granito e o xisto já se encontram em proporções semelhantes, enquanto nas Beiras o xisto é o tipo de rocha que prevalece (Brito, 2002).

2.1.4 Xisto

O xisto (ver Figura 2.6) é um tipo de rocha metamórfica, cristalina de textura média de relativamente fácil identificação por ser geralmente laminado, rico em micas, possuir um grão muito fino e ser facilmente esfoliável (Blyth e Freitas, 1984). Este tipo de rocha é também caracterizado por possuir uma estrutura xistosa que se pode apresentar de forma plana ou irregular, sendo possível a observação das camadas de minerais presentes a olho nu (Costa, 1985) e (Carvalho, 2006).



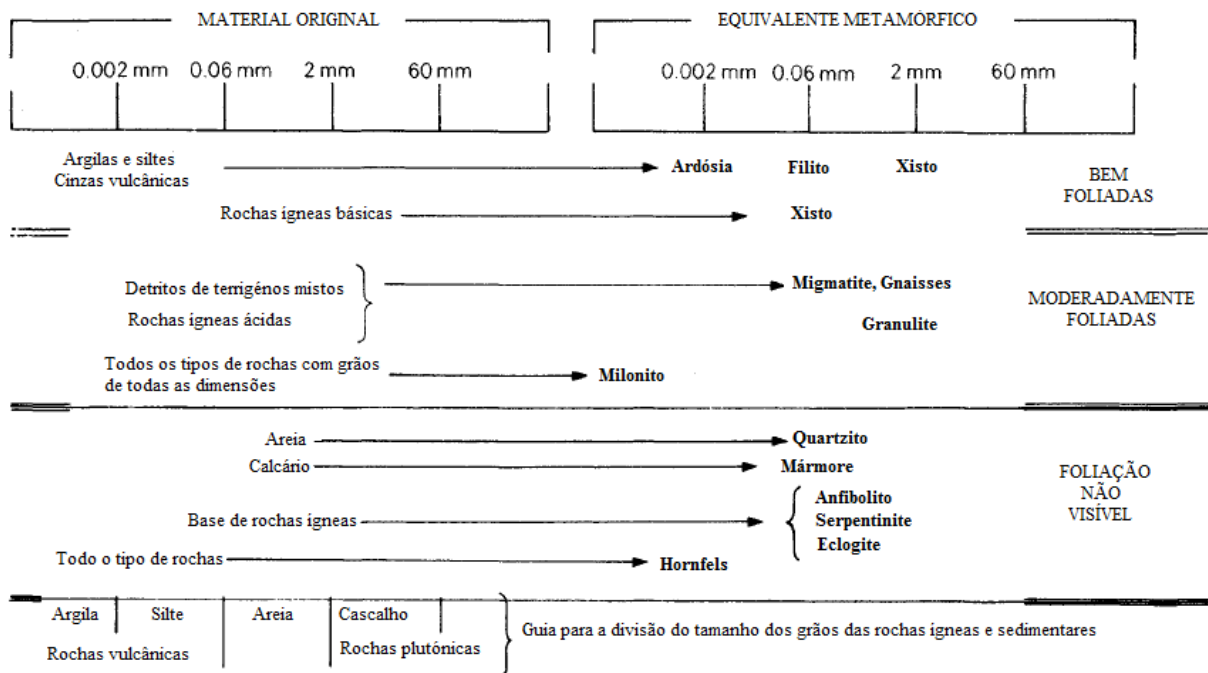
Figura 2.6 – Xisto.

Comparativamente às outras rochas metamórficas como é o caso dos mármore, quartzitos, filitos, corneanas, gnaisses, granulite, milonitos, eclogitos, anfibolitos e filonitos, os xistos distinguem-se pelos seus cristais minerais. Estes são principalmente biotite, moscovite e quartzo, no entanto, há outros minerais que se destacam em determinadas situações, como é o caso da clorite verde, a granada, a estaulite e a cianite (Costa, 1985).

O xisto forma-se quando se dá o processo de metamorfismo em que se verifica um aumento da temperatura e da pressão como se pode observar na Tabela 2.1. Também nesta tabela se pode observar a temperatura e pressão a que se formam algumas das rochas metamórficas mencionadas. Quando este processo se verifica por exemplo numa argila, esta transforma-se

primeiramente em ardósia, depois com o avanço do metamorfismo forma-se o filito e finalmente o xisto (Blyth e Freitas, 1984).

Tabela 2.1 – Classificação para rochas metamórficas (Adaptação de Blyth e Freitas, 1984).



2.1.4.1 Tipos de xistos

Tendo em consideração os minerais descritos anteriormente, e as propriedades intrínsecas dos xistos, estes podem adotar várias nomenclaturas como xistos mosqueados, micaxistos, xistos verdes, xistos azuis, xistos cloríticos, xistos actinolíticos, xistos glaucofânicos ou xistos estatísticos (Carvalho, 1997) e (Costa, 1985). Estas nomenclaturas são adotadas tendo em consideração a combinação da mineralogia, com a estrutura e com a textura.

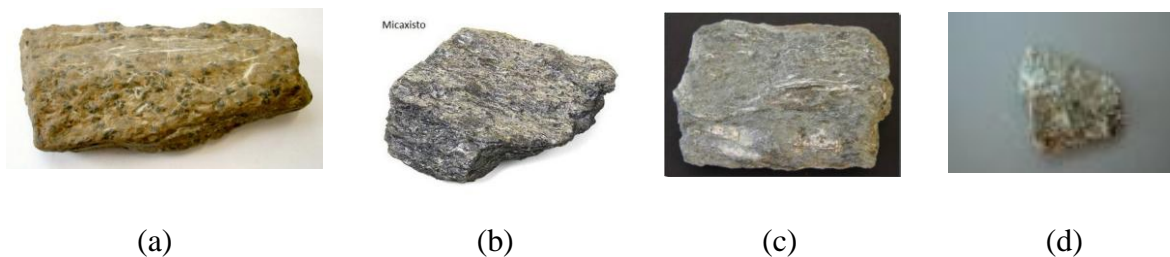


Figura 2.7 - Tipos de xistos: (a) Xisto mosqueado; (b) Micaxisto; (c) Xisto Verde; (d) Xisto clorítico.

Como já foi referido os xistos adotam várias nomenclaturas devido à mineralogia e às propriedades intrínsecas. Seguidamente são apresentadas algumas características de alguns tipos de xistos enunciados anteriormente.

Os micaxistos são definidos pela sua acentuada xistosidade, sendo que as suas “folhas” ou “lâminas” têm uma constituição muito parecida. Os seus principais constituintes são o quartzo e mica, moscovite e/ou biotite (Marques et al., 2006). A sua cor depende da quantidade de minerais descritos, podendo ser desde branca-prateada, acinzentada, acastanhada até anegrada. De referir que as cores mais escuras se devem à presença de grafite (Costa, 1985).

O xisto verde é formado com um grau de metamorfismo baixo em rochas como os basaltos e os gabros. Este é caracterizado por conter minerais verdes, como são exemplo a clorite, o epídoto e actinolite (e-geo.ineti.pt). Os xistos mosqueados têm as mesmas características que o filito verificando-se certas diferenças na sua superfície, como por exemplo pontos mais escuros, os quais são representativos dos novos minerais gerados (Carvalho, 1997). O xisto cloritico é essencialmente constituído por clorite, mas também pode conter outros minerais como o epídoto e a albite. É formado por pequenas placas que lhe conferem cores do verde ao verde-escuro e ainda algum brilho (Costa, 1985).

Estas descrições sumárias permitem colmatar o que já foi referenciado. Por exemplo no que respeita à cor característica de cada rocha verifica-se que tudo tem a ver com a rocha de origem e principalmente com os minerais que se formam ao longo do processo de metamorfismo.

2.1.4.2 Utilização do xisto em Portugal

Em Portugal o xisto aparece com grande predominância na região de Trás-os-Montes e Beiras. Contudo no Minho, Alentejo e Algarve também existem afloramentos deste tipo de rochas mas em menor abundância.

Os xistos têm sido, ao longo dos tempos, o material construtivo predominante na arquitetura das aldeias serranas, no contexto da utilização de materiais locais. O xisto teve também utilização nos castelos, sendo utilizado nos panos das muralhas, onde muitas vezes era conjugado com o granito (Portugueses, 1988).

As aplicações que este tipo de rocha pode ter são variadíssimas, além da construção de habitações como já foi referenciado, estas podem ainda ser utilizadas em pavimentos, arte fúnebre, revestimentos, esculturas, objetos decorativos, guias e lancis, aplicações domésticas

como é o caso das escadas, dos artigos da casa de banho, das bancadas da cozinha, das lareiras, etc, nas ombreiras das portas e nos parapeitos das janelas e hoje em dia é utilizado para revestir obras já existentes (Lanzinha, 1996).

2.2 Tipologias construtivas e danos na construção em xisto em Portugal

2.2.1 Introdução

“A casa varia, adapta-se ao clima e aos costumes do habitante. Estudando a casa portuguesa, devemos marcar a rural e a urbana. A minhota, com o seu eido, difere do casal alentejano, com o seu quintal ou quinchoso: diferem no aspeto, no lar e na chaminé, pela falta ou abundância de cal, nas varandas, que no sul chegam a ser terraços. Basta a neve, que na região norte do país forma no Inverno espessas camadas, para originar diferenças de construção” (Pereira, 1993).

Ao longo do país é possível observar as diferentes tipologias construtivas que existem. Este facto deve-se principalmente às rochas que afloram nas diferentes regiões e à forma como estas são utilizadas na construção. Mas não é só o tipo de rocha existente que influencia a tipologia, esta deve adaptar-se ao “clima e aos costumes do habitante”.

O xisto como material de construção surge em diferentes regiões do país, sendo as suas propriedades diferentes de região para região, e dentro destas regiões as tipologias construtivas também são variáveis. Pode-se por exemplo observar uma construção em Trás-Os-Montes e outra numa aldeia da Beira, nomeadamente em Piódão (aldeia bastante conhecida pelas suas construções típicas em xisto) e verificar que como se tratam de zonas diferentes, o xisto apresenta características e propriedades diferentes, (ver ainda Figura 2.8).



Figura 2.8- Aldeias de xisto em diferentes regiões (outeirobrg.com.sapo.pt).

Estas construções em xisto têm a particularidade de serem relativamente antigas pelo que para a sua construção normalmente não foram elaborados projetos nem eram consideradas as regulamentações para a construção.

Embora estas construções típicas apresentem uma elevada beleza pelas suas características estéticas e pela forma como se inserem na natureza envolvente, tem sempre danos que são intrínsecos, o que é normal existir em todas as construções.

2.2.2 Tipologias construtivas em xisto em Portugal

Existem variadíssimas tipologias de habitações construídas em xisto e granito (ver Figura 2.9 (c)) nomeadamente no Nordeste transmontano pois é um dos locais, como já se referiu, onde estes tipos de rochas afloram em grande abundância. Contudo, na zona do Alentejo também é muito frequente observar as construções em xisto, só que em sítios mais específicos.

Nestas duas situações o xisto serviu para construir tanto uma casa rural como para construir solares mais avantajados.

A construção nestes locais é feita de formas bastante simples sendo o xisto apenas ligado por argamassas de argila ou simplesmente apoiado por sobreposição (Galhano, 1994), no entanto existem também algumas situações em que as argamassas de cal eram utilizadas. As argamassas de argila são utilizadas porque existem algumas alvenarias em que o xisto utilizado é de tão má qualidade que se não levar uma argamassa adequada este tem mais facilidade em partir segundo determinadas direções. A colocação do xisto simplesmente apoiado por sobreposição é utilizada principalmente na construção de muros. No entanto, também é requisitada para a construção de currais ou espaços para guardar animais (Portugueses, 1988).

Seguidamente, apresenta-se uma pequena descrição das construções em alvenaria de xisto em Trás-os-Montes e nas Beiras pois são as regiões mais significativas no que concerne à existência de xisto e também porque são duas das regiões em que se irá efetuar o estudo.

No Nordeste transmontano verifica-se que as habitações em xisto são de dois pisos e algumas delas apresentam as paredes arredondadas (ver Figura 2.9 (a)), as quais contêm uma espessura de cerca de 70 cm. Uma outra tipologia em que se recorre à utilização do xisto é a que se apresenta na Figura 2.9 (d) cujas escadas exteriores vão até ao primeiro piso terminando com o prolongamento de uma pequena varanda. Neste tipo de habitação o piso térreo é utilizado

para guardar ferramentas, colheitas agrícolas e lenha. Também neste se situa a adega e um forno para cozer o pão (Portugueses, 1988) e (Galhano,1994).

A separação do piso térreo do primeiro piso é feita através do soalho, o qual é feito com grandes vigas de madeira. Neste primeiro piso vivem apenas as pessoas.

A separação das construções é feita através de paredes de grande espessura ou tabique enquanto, o teto destas é construído de forma quase idêntica ao chão contendo, no entanto, uma resistência mais baixa (Galhano,1994).

Segundo Moreira (2011), as construções em xisto, nas Beiras, variam de um a três pisos mas na sua maioria apresentavam dois, sendo por isso esta a tipologia dominante. Contudo, importa referir as construções de um piso pois são as mais pobres e rurais, sendo por isso sempre visível a alvenaria de xisto quer no interior quer no exterior. No piso superior a habitação apenas tinha uma divisão, a qual era simultaneamente cozinha, quartos e zona de estar enquanto que o piso inferior tinha como destino alojar os animais. Este podia ser constituído por uma ou duas lojas de gado, dependendo da habitação. Também segundo Moreira (2011), estas habitações apresentam paredes arredondadas, nomeadamente as mais primordiais, sendo substituídas ao longo do tempo por paredes ortogonais irregulares.

Com esta pequena descrição constata-se que as tipologias e os aspectos mais importantes visíveis nesta região são muito semelhantes ao de Trás-os-Montes, podendo diferir aspectos na construção relacionados com a topografia dos terrenos e principalmente com a resistência mecânica da pedra.

De seguida pode observar-se na Figura 2.9 algumas das tipologias existentes no Nordeste transmontano e sobre as quais já se fizeram algumas considerações ao longo deste subcapítulo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.9 - Tipologias da construção em xisto: (a) Construção em xisto com a parede arredondada; (b) Habitações em xisto encostadas e com planta irregular; (c) Construção com xisto e granito; (d) Típica construção com escadas até ao 1º piso (outeirobrg.com.sapo.pt).

2.2.3 Danos principais na construção em xisto em Portugal

2.2.3.1 Introdução

As construções de hoje em dia bem como as que existem há bastantes anos, não duram eternamente tendo sempre associadas um certo grau de risco. Cada vez mais as modernas construções são feitas para um nível reduzido de colapso, isto porque cada vez há mais avanços sucessivos relativamente à capacidade de se realizar análises experimentais bem como simulações em computador sobre as construções históricas existentes. Na Figura 2.10

pode-se observar um paralelo entre a possibilidade de intervenção que existia no passado e a que existe atualmente (Lourenço, 2007).

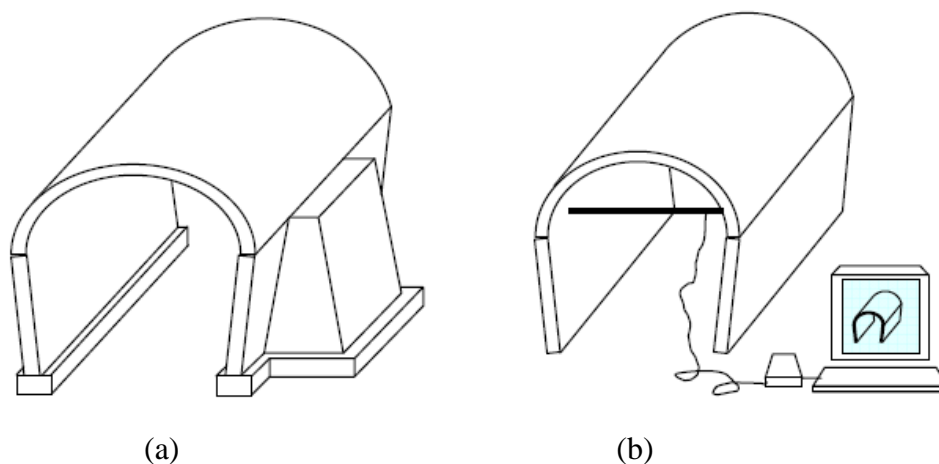


Figura 2.10- Possibilidade de intervenção: (a) Passado; (b) Presente (Lourenço, 2007).

Para que se possa intervir corretamente numa construção que apresente problemas de degradação a todos os níveis, ou seja, relativamente à estrutura e aos materiais que a compõe, deve ser feita uma análise detalhada de toda a construção nomeadamente das causas de degradação (Grillo, 2002), para que seja possível mobilizar os meios e métodos disponíveis para a sua reabilitação.

No caso da reabilitação das construções em xisto torna-se um pouco mais complicada a sua intervenção pois não existe praticamente informação sobre as alvenarias feitas com esta rocha metamórfica, o que não significa que não sejam feitas intervenções nestas construções. Sabendo as tipologias arquitetónicas destas construções e os danos que mais vezes se observam, é possível elaborar estudos para que se possa proceder à sua reabilitação. Nestes casos, torna-se extremamente útil dispor de uma ficha de levantamento específica para as construções em xisto.

De salientar que quando se executam os trabalhos de investigação da construção, deve ter-se em atenção que estas estruturas estão sujeitas a determinadas solicitações e que ao serem reabilitadas podem sofrer alterações provocando transformações na própria estrutura e nos materiais que as constituem (Barros, 2005).

2.2.3.2 Principais danos da construção em xisto

As construções em xisto mais antigas não apresentam qualquer reboco ou revestimento sendo apenas a alvenaria de xisto o acabamento final da construção, daí estarem em contacto direto com os vários agentes ambientais que com o passar do tempo levam à degradação desta pedra, e que com o passar dos anos vai ser cada vez mais prejudicial para a estrutura (Barros, 2009).

O xisto é um tipo de rocha com fácil fracturação, logo inúmeros fatores devem ser tidos em consideração, tais como: os fatores físicos, mecânicos e químicos e a possível combinação entre eles (Barros, 2009).

Os ciclos de gelo/degelo que se verificam nas regiões onde o xisto é predominante causam danos nas estruturas, devido às diferentes temperaturas que se fazem sentir (Barros, 2009).

A erosão é a principal condicionante que leva à alteração das estruturas de xisto. Esta é normalmente visível nas paredes exteriores onde se guardam os animais devido ao contato dos excrementos e da urina destes com as paredes da habitação. Os excrementos e urina dos animais apresentam sais, que em conjunto com a temperatura aceleram a degradação. Por isso é que os sais são outro elemento que proporciona danos nas estruturas de xisto. Os seus efeitos destruidores devem-se aos ciclos de molhagem e secagem a que as superfícies da alvenaria estão sujeitas. Normalmente estes efeitos são facilitados pelos poros existentes nas pedras. No caso do xisto, além dos poros existentes, a sua estrutura xistosa com pequenas fraturas proporciona que os sais tenham uma maior capacidade de se infiltrar. Quando após a secagem e evaporação, os sais cristalizam e exercem uma força expansiva sobre os poros e fraturas, acabando por degradar a pedra (Woolfitt, 2000). Este fenómeno desenrola-se com maior rapidez quando se verifica uma diminuição da humidade. Segundo Woolfitt (2000), existem situações em que as alvenarias podem permanecer estáveis por muito tempo e de repente aparecer uma degradação relacionada com os sais, devido às alterações do ambiente. Este dano ocorre normalmente nos pisos térreos e pode ter a configuração representada na Figura 2.11 (Barros, 2009).



Figura 2.11 – Erosão de xisto em habitações de Trás-os-Montes (Barros, 2009).

2.3 Ensaios executados por diversos autores

2.3.1 Introdução

O estudo das construções em xisto tem vindo a despertar algum interesse, uma vez que este tipo de construção aparece como um recurso nas regiões do país em que o afloramento do xisto é mais comum, daí haver uma necessidade de proceder ao seu aproveitamento. No entanto, existem diversos fatores que condicionam o avanço deste estudo, nomeadamente a insuficiência de documentos relacionados com as propriedades deste material e das suas estruturas. Perante este cenário é extremamente importante que se mobilizem esforços com o intuito de obter o máximo de informação possível, para tal dever-se-á proceder à elaboração de ensaios aos diferentes tipos de xistos utilizados na construção em Portugal (Noronha et al., 2010).

Embora este tipo de rocha não seja utilizado nos dias de hoje com muita frequência na construção, a manutenção e salvaguarda do extenso património construído em xisto requer um reconhecimento aprofundado do material.

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se os ensaios efetuados por Noronha et al., (2010), assim como todas as ilações que foram possíveis retirar dos resultados obtidos.

2.3.2 Ensaios realizados na região Nordeste de Portugal

Com base no projeto “SCHISTRESOURCE” da FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia), cujo objetivo foi a utilização do xisto como rocha ornamental, foram feitos estudos para a caracterização estrutural, mineralógica, petrográfica e tecnológica do xisto no Nordeste de Portugal. Esses estudos foram feitos em xistos de 3 zonas de diferentes características e litologias desta região: Nozelos no concelho de Torre de Moncorvo, Alto das

Pedreiras em Deilão no conselho de Bragança e Zebras no concelho de Valpaços. Estas regiões foram escolhidas, como já mencionado, por terem características e litologias diferentes e além disso mostravam características geológicas favoráveis propícias a uma futura exploração industrial.

2.3.2.1 Ensaios e metodologia

Na primeira fase foram efetuados ensaios petrográficos, químicos (aos elementos de maiores dimensões) e de caracterização das propriedades físicas e mecânicas, tais como a resistência ao choque e ao desgaste, densidade aparente, absorção da água e resistência à flexão.

Numa segunda fase foi feita a avaliação do volume de rocha que se encontrava com boas características para, posteriormente, ser aplicada. Esta avaliação apenas recaiu sobre algumas das zonas seleccionadas.

As normas Europeias para os ensaios em rochas ornamentais foram tidas em consideração na determinação da resistência à flexão, da densidade aparente, da porosidade, da absorção de água à pressão atmosférica, da resistência ao desgaste e da durabilidade.

2.3.2.2 Resultados obtidos por Noronha et al. (2010)

No ensaio da petrografia, verificam-se que as litologias dos três locais se caracterizam por uma alternância entre certos minerais existentes no xisto de um local para o outro. A constituição mineralógica de Nozelos é basicamente de quartzo, moscovite e alguma clorite e biotite, enquanto a de Deilão e a de Zebras tem uma constituição parecida, tendo principalmente quartzo e moscovite. Em Nozelos a litologia é caracterizada sendo um filito clorítico, já em Zebras como sendo um quartzofilito e em Deilão como sendo um filito quartzoso, tendo como característica comum as duas o facto de apresentarem uma textura granolepidoblástica. Em termos de recristalização o local onde esta característica é essencialmente verificada é em Zebras. Relativamente à análise química do xisto obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Análise química dos xistos nas 3 zonas em estudo (Noronha et al., 2010).

Xistos		Nozelos	Zebras	Deilão
Elementos	Unidades			
SiO ₂	%	58,97	95,08	66,32
Al ₂ O ₃		20,59	2,40	17,50
Fe total (Fe ₂ O ₃)		6,64	0,96	5,91
MnO		0,08	<0,02	0,07
CaO		0,33	<0,04	0,04
MgO		2,24	0,03	0,63
Na ₂ O		1,71	<0,02	0,20
K ₂ O		4,43	0,69	4,18
TiO ₂		0,98	0,06	0,83
P ₂ O ₅		0,11	0,04	0,11
Perda ao Rubro		3,94	0,59	4,26

Os ensaios referentes às propriedades físicas e mecânicas deste mesmo caso estão reportados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Propriedades físicas e mecânicas do xisto nas 3 zonas em estudo (Noronha et al., 2010)

Xistos		Nozelos	Zebras	Deilão
Propriedades	Unidades			
Resistência à flexão	MPa	40,1	31,5	23,4
Densidade aparente	kg/m ³	2740	2630	2530
Porosidade aberta	%	1,3	0,8	6,9
Absorção de água	%	0,6	0,3	2,7
Resistência ao desgaste (Capon)	mm	24,5	18,5	25,5
Resistência ao envelhecimento por choque térmico*- perda de massa	%	0,02	0,01	0,19

2.3.2.3 Conclusões do estudo efetuado

Os resultados obtidos para o ensaio de choque térmico nos três casos em estudo permitem observar que a utilização deste tipo de rocha em exteriores e com temperaturas ambientais altas é viável para estes três casos. No entanto, no que se refere à absorção de água só o tipo de rocha existente em Zebras tem utilização no exterior. Relativamente à resistência à flexão, apresentavam-se valores muito elevados nos 3 casos. No ensaio de resistência ao desgaste de Capon foi possível constatar que o tipo de xisto existente em Zebras é o que melhor se adapta em locais de tráfego intenso, em contrapartida com o de Nozelos e de Deilão que diminuem a sua capacidade de utilização, respetivamente.

O estudo das características dos xistos das 3 zonas em análise permitiu concluir que estes podem ser utilizados como rocha ornamental.

Contudo, pelo descrito pelos autores, a zona de Zebras é a que possui xistos com melhores características em todos os ensaios.

2.3.3 Ensaios realizados na região das Beiras

2.3.3.1 Descrição do estudo efetuado

Na região das Beiras, nomeadamente em Aguieira foi realizado um estudo por Pinho (1973), o qual se achou importante apresentar de seguida, pois apresenta ensaios diferentes dos efetuados na Universidade do Minho.

O objetivo do estudo efetuado por Pinho (1973) consistia na avaliação da deformabilidade das rochas xistosas. Nesse estudo foram apresentados os resultados obtidos de ensaios de compressão uniaxial em rochas xistosas. Estes ensaios foram feitos tanto em laboratório como *in situ* e tiveram como objetivo observar e interpretar as “variações do módulo de elasticidade, do coeficiente de Poisson, do coeficiente de dilatação cúbica e do ângulo formado pelas direções principais de tensão e de deformação com o ângulo formado com a normal à xistosidade”

Quando é elaborado um estudo sobre rochas xistosas deve ter-se em consideração o facto de que a deformabilidade destas pode ser paralela ou normal à xistosidade por haver pressupostos que estas direções fornecem os valores extremos das características mecânicas. No entanto, nem sempre se verificou este pressuposto. Foi então que recorreram à utilização de uma fórmula empírica que expressava com muita proximidade a variação do módulo de elasticidade.

Ao longo do estudo, apresentam-se os ensaios que foram executados em laboratório e *in situ*.

2.3.3.2 Resultados obtidos

Nos ensaios de laboratório foram analisados 3 xistos, tomando as amostras as designações de xisto I, xisto II e xisto III. Nestas três amostras foram avaliados os parâmetros já referidos em termos experimentais e teóricos no entanto, neste trabalho só serão referidos os valores

correspondeste à análise experimental pois é nesta, que a maior parte dos ensaios apresenta os valores máximos.

Pinho (1973) verificou que em relação ao módulo de elasticidade o xisto I era o que apresentava maior valor (947×10^3 MPa), enquanto os xistos II e III exibiam valores menores (763×10^3 MPa e 646×10^3 MPa, respetivamente); relativamente ao coeficiente de Poisson, o valor máximo obtido foi de 0,386 para o xisto III, enquanto para o xisto I e II foram verificados os valores de 0,379 e 0,306, respetivamente; o coeficiente de dilatação cúbica tal como acontece para o módulo de elasticidade apresentava o maior valor para o xisto I (0,260) e menores valores para o xisto II e III (0,204 e 0,158, respetivamente); o ângulo formado pelas direções principais de tensão apresentava o maior valor negativo para o xisto III (-811×10^{-6}) e os valores de (-559×10^{-6} e -232×10^{-6}) para os xistos II e I, respetivamente e por último o ângulo formado com a normal à xistosidade, o maior valor foi verificado para o xisto III ($+16^\circ 25'$) seguido do xisto II ($+11^\circ$) e do xisto I ($+3^\circ 24'$).

Os ensaios *in situ* foram efetuados em galerias de reconhecimento abertas em xisto gravaucóide, o qual apresentava índices baixos de metamorfismo. Neste foram feitos ensaios de deformabilidade vertical e horizontal e também normal e paralelamente à xistosidade. Para a deformabilidade horizontal e vertical foram observados os maiores valores para o xisto II ($389,2 \times 10^3$ kg/cm² e $82,9 \times 10^3$ kg/cm², respetivamente), enquanto para a normal e paralela à xistosidade o valor máximo foi observado para o xisto I (4,244 e 0,383, respetivamente).

2.3.3.3 Conclusões do estudo

Com os resultados obtidos nos ensaios de deformabilidade das rochas xistosas em laboratório verificaram-se que estas se comportam como um corpo isotrópico transversalmente. Os ensaios *in situ* apresentaram um comportamento idêntico ao de laboratório, mas para medir as constantes do maciço foram precisas medições verticais e horizontais.

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MATERIAL

3.1 Introdução

Neste capítulo serão abordados seis ensaios que permitirão ter um maior conhecimento sobre as propriedades de uma pedra natural específica, o xisto. Para tal resolveu-se estudar as propriedades de xistos das seguintes 5 regiões de Portugal (Figura 3.1): Vila Nova de Foz Côa, Serra de Argã, Carracedo de Montenegro, Sobral de São Miguel e Barqueiros. Na Tabela 3.1 encontram-se apresentadas cada uma destas regiões e a respetiva sigla. De forma a complementar esta informação a cada região será associado um símbolo e uma cor para que se torne mais fácil a compreensão dos resultados apresentados graficamente (Tabela 3.2).

Os ensaios executados foram escolhidos tendo em consideração o tipo de pedra que se está a estudar. Por isso escolheram-se os seguintes: absorção de água à pressão atmosférica, absorção de água por capilaridade, ultrassons, resistência à compressão, carga de ponta e resistência à cristalização de sais. Nos quatro primeiros ensaios foram sempre utilizados os mesmos provetes, nos dois últimos foram utilizados provetes diferentes. Também para este caso se utilizou uma sigla indicativa de cada ensaio como se pode observar na Tabela 3.1.

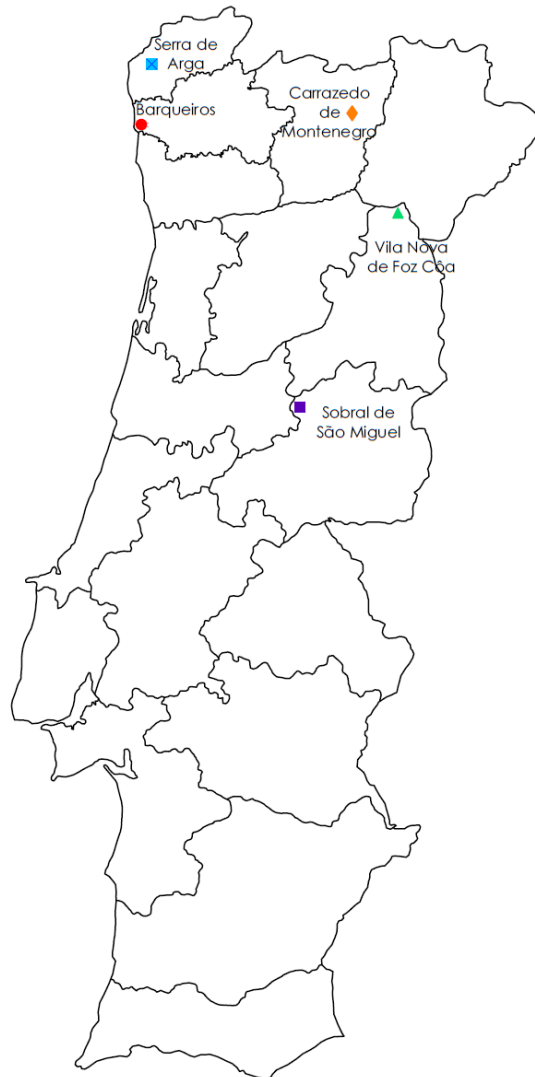


Figura 3.1- Regiões de Portugal para as quais foi realizado o estudo.

Para a execução dos ensaios de absorção de água à pressão atmosférica, por capilaridade, ultrassons e resistência à compressão foram empregues 50 provetes cúbicos de 50 mm de lado, no total, todos com as mesmas dimensões. No ensaio de absorção de água à pressão atmosférica os 50 provetes foram utilizados sem ter em consideração a direção de ensaio, enquanto nos restantes ensaios mencionados, 25 provetes foram ensaiados na direção normal e os restantes 25 na direção paralela aos planos de anisotropia.

No ensaio de carga de ponta foram igualmente utilizados 50 provetes cúbicos de 50 mm de lado, dos quais foram ensaiados 25 para cada uma das direções. Relativamente ao ensaio de

resistência à cristalização de sais foram utilizados 30 provetes cúbicos de 40 mm de lado, sendo indiferente a direção do ensaio.

Tabela 3.1 - Ensaio em estudo e respetivas sigla.

Ensaio	Sigla
Ensaio de absorção de água à pressão atmosférica	AA
Ensaio de absorção de água por capilaridade	AC
Ensaio de ultrassons	US
Ensaio de compressão	RC
Ensaio de carga de ponta	CP
Ensaio de sais	CS

Tabela 3.2 – Sigla, símbolo e cor correspondente a cada região.

Região	Sigla	Símbolo		Cor
		⊥ (Normal)	// (Paralelo)	
Vila Nova de Foz Côa	FC	▲	△	Verde
Serra de Arga	SA	■	×	Azul
Carrazedo de Montenegro	CM	◆	◇	Laranja
Sobral de São Miguel	SM	■	□	Roxo
Barqueiros	BA	●	○	Vermelho

A execução destes ensaios tem como objetivo avaliar a capacidade resistente do xisto enquanto material estrutural. Para esta avaliação, deve ter-se em consideração determinados aspetos como a porosidade, a xistosidade, a anisotropia, a absorção, etc.

3.2 Determinação da absorção de água à pressão atmosférica

3.2.1 Geometria e provetes

Este ensaio permite avaliar e determinar a absorção de água nas pedras naturais. De acordo com a norma EN NP 13755:2005, devem ser utilizados pelo menos 6 provetes. No ensaio efetuado na Universidade do Minho foram utilizados 10 provetes cúbicos de 50 mm de lado, pois são as dimensões que segundo a norma devem ser adotadas quando se opta pela utilização de provetes cúbicos.

3.2.2 Equipamento e procedimento do ensaio

Os provetes devem apresentar massa constante sendo que para tal são colocados num forno à temperatura de cerca de 75° C. Posteriormente, cada um dos provetes é pesado e colocado num recipiente com água que se encontra à pressão atmosférica, mantendo-se afastados uns dos outros cerca de 15 mm e das paredes laterais cerca de 20 mm.

O processo prossegue com a colocação faseada de água no recipiente onde se encontram os provetes. Inicialmente coloca-se a água até metade da altura dos provetes depois até três quartos da altura e por fim com uma altura de cerca 20 mm acima dos provetes, ver Figura 3.2, para um período de tempo entre as fases de 60 minutos. Após 48 horas, os provetes são limpos com um pano húmido, pesados e novamente colocados no reservatório. A cada 24 horas, este processo repete-se, terminando quando a massa constante é atingida, ou seja, quando a diferença entre duas pesagens sucessivas não for superior a 0,1% da penúltima pesagem.



Figura 3.2 - Provetes imersos durante o ensaio de absorção.

3.2.3 Resultados experimentais

Para cada provete, o valor de absorção de água à pressão atmosférica é dado pela equação (1), o qual dever ser apresentado em percentagem.

$$A_s = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \quad (1)$$

Em que m_s representa a massa do provete saturado e m_d , a massa do provete seco.

Na Tabela 3.3 apresentam-se os resultados obtidos para o ensaio efetuado. Apenas se mencionam os valores médios, o coeficiente de variação, o valor máximo e mínimo para cada

uma das cinco regiões pois através destes é possível tecer as conclusões necessárias a uma boa interpretação do sucedido no ensaio. No anexo A apresentam-se os valores de absorção de cada um dos 10 provetes para cada região.

No gráfico da Figura 3.3 encontram-se representados os valores médios calculados.

Tabela 3.3 – Resultados obtidos através do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica.

Região	Vila Nova de Foz Côa	Serra de Arga	Carracedo de Montenegro	Sobral de São Miguel	Barqueiros
Média (%)	0,57	2,99	1,48	3,55	1,82
CV (%)	0,08	0,57	0,18	0,54	0,89
Valor máximo (%)	0,64	5,33	1,71	7,32	3,61
Valor mínimo (%)	0,51	1,45	1,04	2,77	1,30

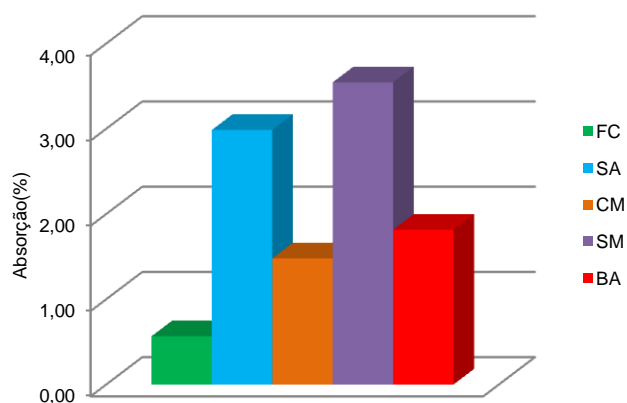


Figura 3.3 – Absorção de água à pressão atmosférica para as várias regiões.

3.2.4 Discussão dos resultados

Através da análise da Figura 3.3 é possível verificar que os provetes que apresentam menor valor médio de absorção são os FC com 0,57%. Para valores de absorção intermédios observam-se os CM e BA com 1,48% e 1,82%, respetivamente, sendo os valores máximos observáveis para SA e SM com 2,99% e 3,55%, respetivamente. A razão pela qual os provetes FC apresentam menores valores de absorção deve-se ao facto destes apresentarem baixa porosidade. Tal conclusão é possível comprovar através do gráfico da Figura 3.4 onde claramente se observa a pequena capacidade de absorção dos provetes de FC relativamente aos das restantes regiões. Esta conclusão é também baseada nos estudos efetuados nesta região para as designadas “Pedreiras do Poio”. Segundo esses estudos “as rochas exploradas

nas pedreiras do Poio são xistos de baixa permeabilidade, visto que a absorção é muito lenta” (Búrcio, 2004).

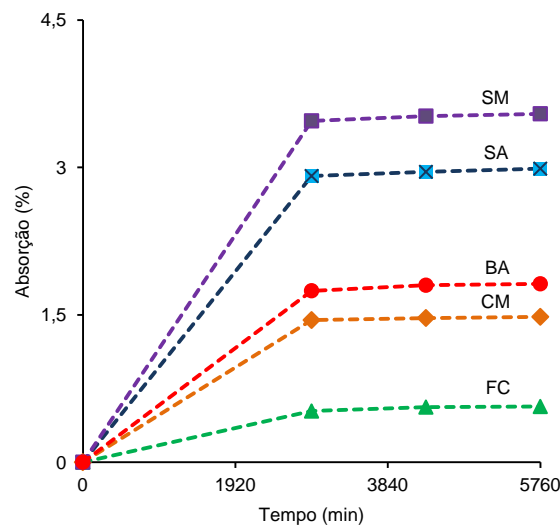


Figura 3.4 - Absorção dos provetes ao longo do tempo.

FC, CM e BA são as regiões que apresentam os provetes visivelmente mais compactos (foliagem mais compacta) pressupondo uma menor quantidade de vazios (daí serem os que absorvem menores quantidades de água). No entanto, a aparência compacta destes provetes não é igual. Dos três mencionados, os FC são os mais densos e lisos, seguidos dos CM que, embora apresentem um aspeto denso, denotam mais fragilidade além de não apresentar uma superfície tão lisa. No caso dos de BA, a aparência também é compacta contudo, na superfície estão presentes determinadas rugosidades através das quais a água tem mais facilidade em se infiltrar. Tais factos podem também ser comprovados através do gráfico da Figura 3.4 em que se observa a evolução da absorção nos provetes das regiões mencionadas.

No que se refere aos provetes SA e SM, é bem visível o seu aspeto mais frágil. Nos SA a textura da própria pedra é extremamente rugosa denotando-se maior facilidade na infiltração da água. No caso de SM, a infiltração da água deve-se ao facto dos provetes possuírem planos de anisotropia muito bem definidos parecendo que os provetes são formados por um conjunto de várias lâminas de rocha todas unidas.

3.3 Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade

3.3.1 Geometria e provetes

Este ensaio permite determinar a massa de água absorvida por capilaridade nas pedras naturais ao longo de vários períodos de tempo. Segundo a norma EN NP 1925:2000, o ensaio deve ser realizado em pelo menos 6 provetes cúbicos de 50 mm, em cada direção, sendo que no caso em estudo apenas se utilizaram 5 em cada uma das direções devido à dificuldade em obter o material. Estes devem ser ensaiados segundo cada direção de ascensão da água relativamente à posição de qualquer plano de anisotropia.

3.3.2 Equipamento e procedimento do ensaio

O ensaio inicia-se, quando após a pesagem dos provetes a massa constante estes são imersos num recipiente com água a uma profundidade de 3 ± 1 mm (ver Figura 3.5).

As faces destes com os seus respetivos planos de anisotropia devem coincidir com a direção de ascensão da água para que o ensaio possa ser realizado devidamente e com o decorrer dos intervalos de tempo seja possível observar a ascensão da água através desses planos. Para que tal seja possível os provetes devem permanecer no recipiente durante determinado período de tempo, sendo pesados também em determinados períodos de tempo, isto para que posteriormente seja observável a absorção e feita a sua quantificação através da massa de água absorvida. No caso em estudo e, de acordo com a norma, os intervalos de tempo selecionados para as pesagens foram os seguintes: 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 e 4320 minutos, pois estes são os que melhor se adaptam ao ensaio uma vez que são efetuados para 5 regiões em simultâneo. Para que cada pesagem possa ser executada corretamente, a parte imersa de cada provete deve ser limpa previamente com um pano húmido.



Figura 3.5 – Provetes das regiões em estudo durante o ensaio de absorção de água por capilaridade.

O ensaio termina quando a diferença entre duas pesagens sucessivas não for superior a 1% da massa de água absorvida pelo provete, para tal devem ser feitas pelo menos 7 medições.

3.3.3 Resultados experimentais

Os resultados obtidos devem ter em consideração a água absorvida por cada provete ao longo dos diferentes intervalos de tempo selecionados para o ensaio, sendo que a contagem dos tempos é sempre feita a partir do início do ensaio até cada pesagem. Posteriormente, é feita uma média das pesagens de todos os provetes em cada um dos tempos em análise.

A quantificação da água absorvida, segundo a norma, é feita contabilizando a massa de água absorvida (g) relativamente à área da base imersa do provete (m²) em função da raiz quadrada do tempo (s). Esta pode ser representada graficamente obtendo-se a designada curva de absorção capilar.

A curva de absorção capilar está intimamente ligada com o coeficiente de absorção por capilaridade, para o qual se utiliza a equação (2), caso a curva de absorção capilar respeite a seguinte condição imposta na norma: “se o coeficiente de correlação da reta ajustada aos pontos medidos na primeira parte do gráfico for superior a 0,90 (quando a primeira parte do gráfico corresponde a, pelo menos 4 medições) ou 0,95 (quando a primeira parte do gráfico corresponde a, pelo menos 5 medições) o coeficiente de absorção de água por capilaridade C_1 e C_2 ...pode ser calculado pela expressão seguinte ”, ou seja, o coeficiente de correlação da linha de tendência deve ser superior a 0,90 ou 0,95, dependendo das medições.

$$C_1 \text{ ou } C_2 = \frac{m_i - m_d}{A \times \sqrt{t_i}} \quad (2)$$

Por uma questão de coerência e uniformização na análise dos resultados optou-se por calcular os coeficientes da mesma forma. Esta decisão foi também influenciada porque a norma não é totalmente clara no que considera “a primeira parte do gráfico”, no entanto considera-se importante explicitar sucintamente qual seria a forma de cálculo do coeficiente de absorção quando a condição anterior não se verifica.

A norma sugere que caso não se verifique a condição escrita acima, deve ter-se atenção que a expressão anterior não pode ser utilizada ”Esta fórmula aproximada não pode ser utilizada se o valor do coeficiente de correlação da reta de regressão ajustada aos pontos médios na

primeira parte do gráfico não for satisfatório”. Para tal deve consultar-se o anexo A da norma onde estão apresentadas as equações (3) e (4) para o cálculo do coeficiente de absorção.

$$y_i = a. \left(1 - e^{-b\sqrt{t_i}}\right) \quad (3)$$

A parte exponencial desta equação sofre uma linearização ficando da seguinte forma:

$$y_i = a. b\sqrt{t_i} \text{ e } C_1 \text{ ou } C_2 = a. b \quad (4)$$

Em que y_i é a massa de água absorvida no tempo t_i , a é a massa máxima de água absorvida no final do ensaio e b o coeficiente de penetração da água no sentido do comprimento do provete.

Na Tabela 3.4 estão presentes os resultados mais significativos obtidos a partir da execução do ensaio de capilaridade. Apresentam-se os coeficientes de absorção por capilaridade máxima e mínima, os quais são valores médios obtidos a partir do cálculo individual de cada provete utilizando a equação (2). Também é visível a absorção máxima e mínima para cada uma das regiões, nas duas direções.

Tabela 3.4 – Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de absorção por capilaridade.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carracedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Coeficiente de absorção máximo ($\text{g/m}^2\text{s}^{0,5}$)	2,7	2,2	39,2	41,5	9,6	28,6	15,5	42,1	6,5	11,4
Coeficiente de absorção mínimo ($\text{g/m}^2\text{s}^{0,5}$)	1,2	1,1	6,7	6,6	2,9	3,9	5,8	8,4	2,8	4,6
Absorção máxima (g/m^2)	656,0	614,4	3612,8	3565,6	1580,8	2075,2	3087,2	4501,6	1492	2442,4
Absorção mínima (g/m^2)	346,8	347,7	324,9	326,5	338,7	336,5	357,2	369,6	332,7	330,7

No gráfico da Figura 3.6 o coeficiente de absorção ao longo do tempo para a região FC na direção normal e paralela. Para as restantes regiões os gráficos encontram-se no anexo B.

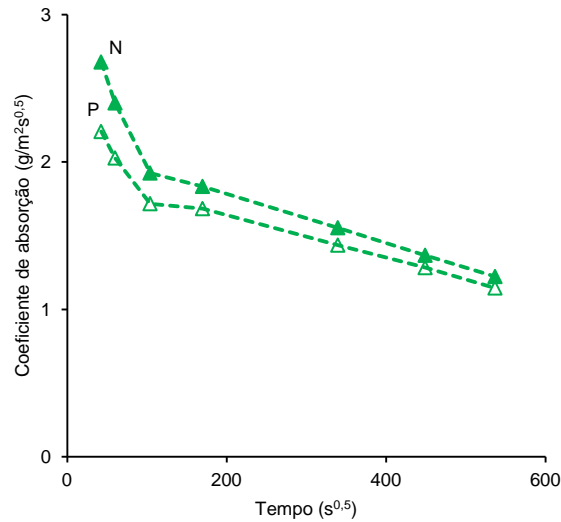


Figura 3.6 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela aos planos de anisotropia em provetes de Vila Nova de Foz Côa.

Os gráficos da Figura 3.7 e Figura 3.8 representam a cinética de absorção capilar em função do tempo, na região FC, e aos quais foi adicionada a variável “variação de massa”, de forma a comprovar que ao terminar o ensaio a variação de massa entre as duas últimas pesagens não é superior a 1% da massa de água absorvida pelo provete. O mesmo processo foi executado para as restantes regiões de modo a comprovar o já descrito em relação à variação de massa e que podem ser observados no anexo B.

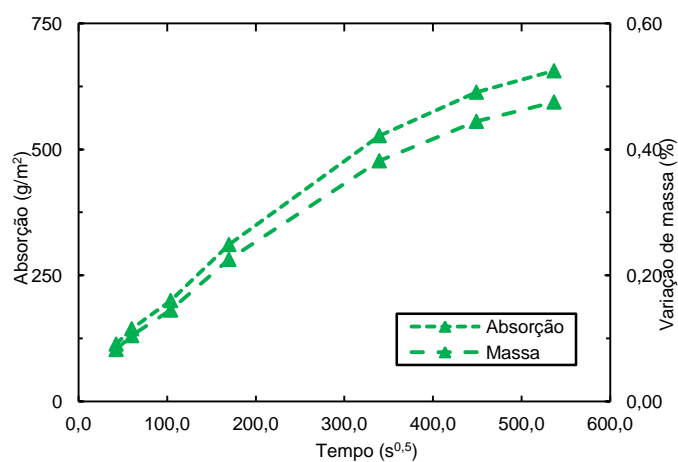


Figura 3.7- Absorção de água por capilaridade na direção normal à foliação em provetes de Vila Nova de Foz Côa.

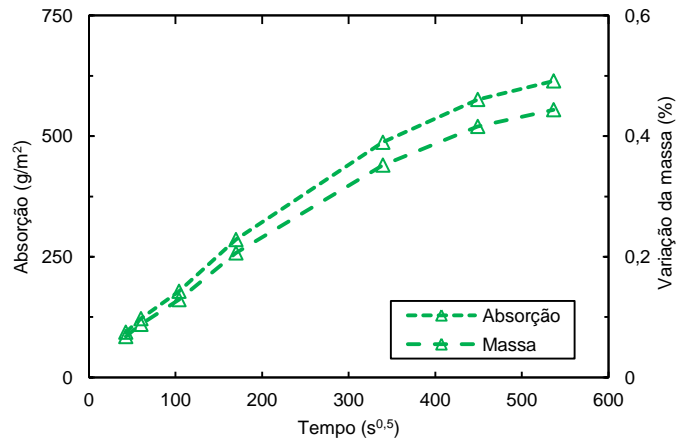


Figura 3.8 – Absorção de água por capilaridade na direção paralela aos planos de anisotropia em provetes de Vila Nova de Foz Côa.

Sabendo que a condição imposta pela norma para terminar o ensaio se verifica para todas as regiões foram feitos gráficos onde se podem comparar os resultados da absorção obtidos para a direção normal e paralela nas regiões em estudo.

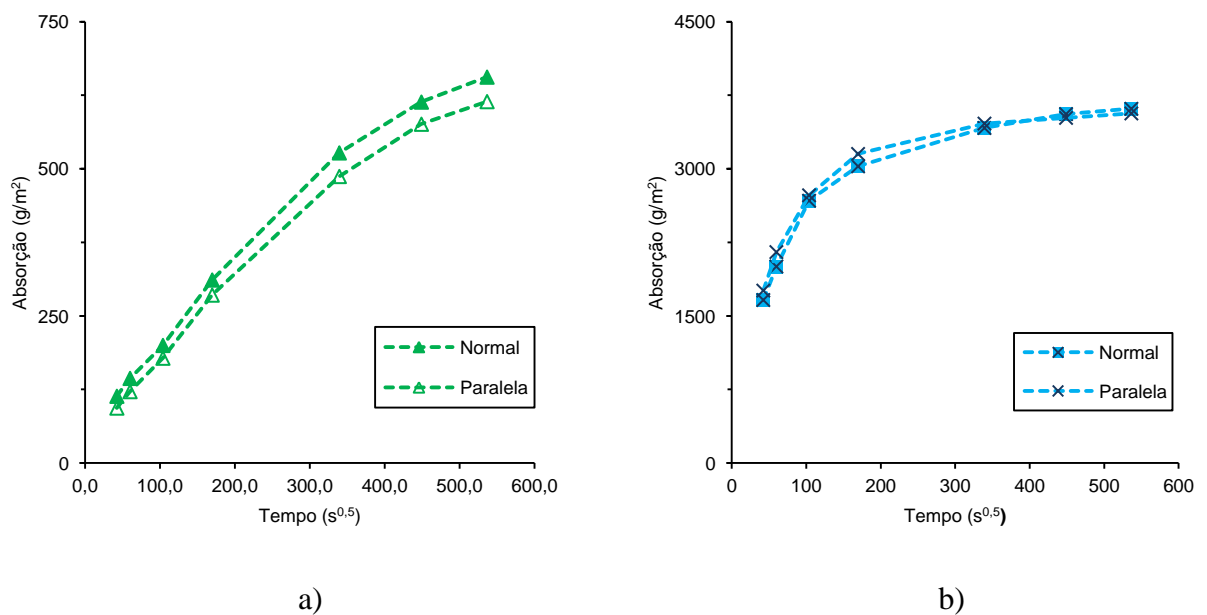


Figura 3.9 - Comparação entre os resultados da direção normal e paralela à anisotropia em provetes: a) Vila Nova de Foz Côa; b) Serra de Arga.

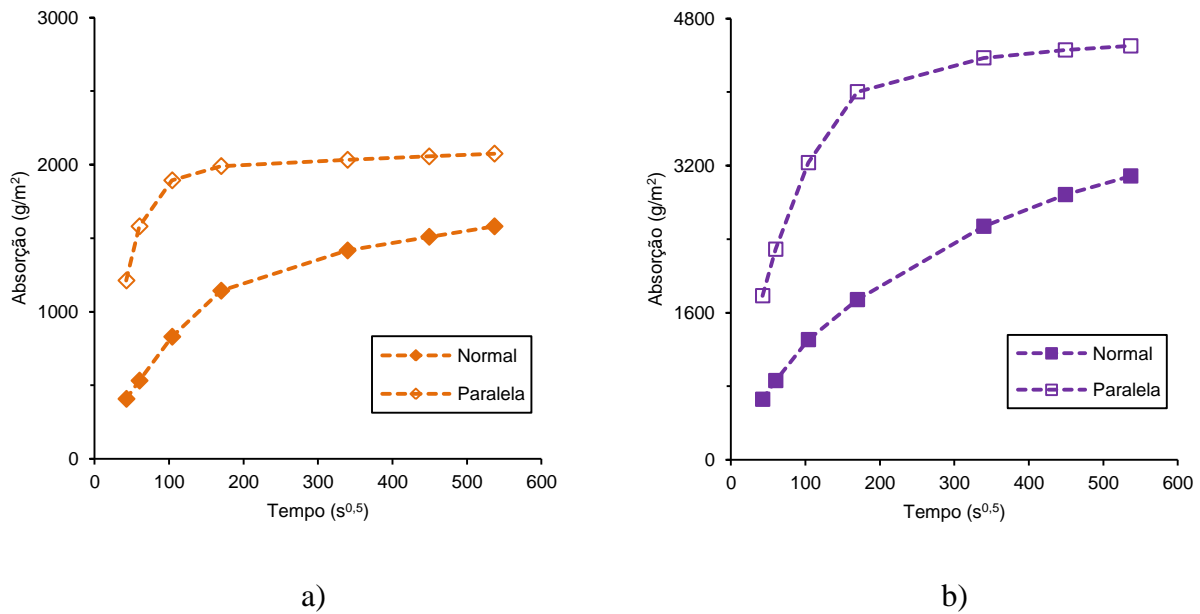


Figura 3.10 - Comparação entre os resultados da direção normal e paralela à anisotropia em provetes: a) Carrizado de Montenegro; b) Sobral de São Miguel.

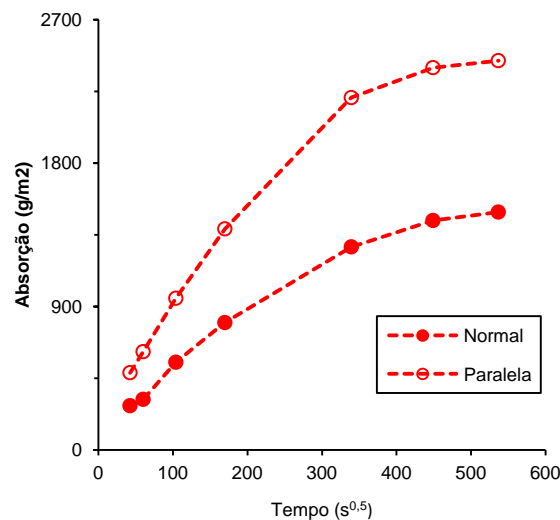


Figura 3.11 - Comparação entre os resultados da direção normal e paralela à anisotropia em provetes de Barqueiros.

3.3.4 Discussão dos resultados

Nota-se pela análise dos resultados da Tabela 3.4, do gráfico da Figura 3.6 e dos restantes gráficos que se encontram no anexo B que os valores máximos e mínimos do coeficiente de absorção ocorrem sempre para os mesmos tempos, respetivamente. Para todas as regiões, o valor máximo do coeficiente de absorção ocorre na primeira pesagem após se ter dado início

ao ensaio, ou seja, nos primeiros 30 minutos. No que diz respeito ao menor valor do coeficiente de absorção este ocorre na última pesagem, ou seja, para os 4320 minutos. No gráfico da Figura 3.6 é visível a ocorrência do descrito para a região de FC, e no anexo B encontram-se os gráficos que contemplam as restantes regiões em estudo e que tal como este confirmam a análise efetuada.

O facto do coeficiente de absorção diminuir ao longo do tempo em que se executa o ensaio, está intimamente ligado com a absorção em si. O coeficiente apresenta o seu maior valor no início do ensaio pois é quando há maior absorção por parte dos provetes, a partir daí a absorção começa a ser cada vez menor porque quando os provetes se encontram saturados, a absorção começa a estabilizar.

Da análise dos gráficos da Figura 3.9, Figura 3.10 e Figura 3.11 observa-se que a absorção por capilaridade na direção normal é superior à paralela apenas nas regiões FC e SA. A explicação para que tal aconteça a FC pode dever-se à existência de uma terceira direção, a qual interfere nos resultados. Para esta conclusão teve-se em consideração os estudos efetuados por Búrcio (2004) sobre os xistos das pedreiras do Poio, para os quais o autor considerou 3 direções na análise efetuada. No entanto, não se pode considerar que os resultados sejam apenas afetados por essa direção. O facto dos planos de anisotropia serem muito compactos leva a que a direção normal e paralela tenham valores de absorção muito próximos.

Em relação aos provetes SA, verifica-se a situação oposta, ou seja, os provetes são pouco compactos e os planos de anisotropia pouco definidos, sendo devido a esta condicionante que os valores das duas direções são muito próximos, mas ligeiramente superiores na direção normal.

No que se refere aos provetes das outras três regiões denotam-se valores bastante mais elevados na direção paralela relativamente à direção normal. Tal facto é explicado com a boa definição dos planos de anisotropia que os provetes destas regiões apresentam proporcionando a obtenção de resultados mais coerentes. Como se sabe a direção paralela é a mais propícia à ascensão da água pois esta sobe ao longo dos provetes sem que haja uma superfície que impeça a sua contínua ascensão como acontece na direção normal, daí os valores de absorção serem mais reduzidos.

É de salientar que embora para estas regiões (SA, CM, SM e BA) não seja mencionada a existência de uma terceira direção (direção diagonal), não significa que esta não exista.

Apenas para a região FC (relativamente às pedreiras do Poio) existem registos bibliográficos que podem comprovar o mencionado.

3.4 Determinação da velocidade de propagação de ultrassons

O ensaio de ultrassons permite determinar a velocidade de propagação de um impulso ultrassónico entre dois pontos bem como o seu tempo de propagação. Assim, é possível obter informação sobre as características mecânicas dos elementos atravessados de forma não destrutiva. Dentro destas podem destacar-se a homogeneidade, a existência de fendas e possíveis defeitos existentes nas argamassas (Mendonça, 2007). No caso em estudo a homogeneidade do material é a característica a destacar.

Para a execução do ensaio de ultrassons existem várias normas que podem ser seguidas, cada uma delas ligada a um material específico. Entre estes materiais podem destacar-se a madeira, o betão, o aço, as pedras naturais, etc. No caso das pedras naturais não se pode dizer que exista uma norma já publicada especificamente para estas, existem sim referências bibliográficas que vão explicitando alguma informação de certos procedimentos e resultados. Posto isto, resolveu fazer-se uma adaptação para este estudo, utilizando a norma EN 12504-4 e a norma britânica BS1881: Part 203, cujos princípios descritos se remetem para o ensaio de ultrassons no betão.

O impulso ultrassónico é concebido a partir de um sinal elétrico e transmitido por um transdutor (emissor), que se encontra em contacto com a superfície do provete. Após ter atravessado o sinal ultrassónico é captado por outro transdutor (recetor), que se encontra na superfície oposta do provete, e transforma-o novamente em sinal elétrico reenviando-o de novo para a unidade central (Figura 3.12). Assim sendo é possível calcular a velocidade de propagação do impulso no material em estudo (Mendonça, 2007).

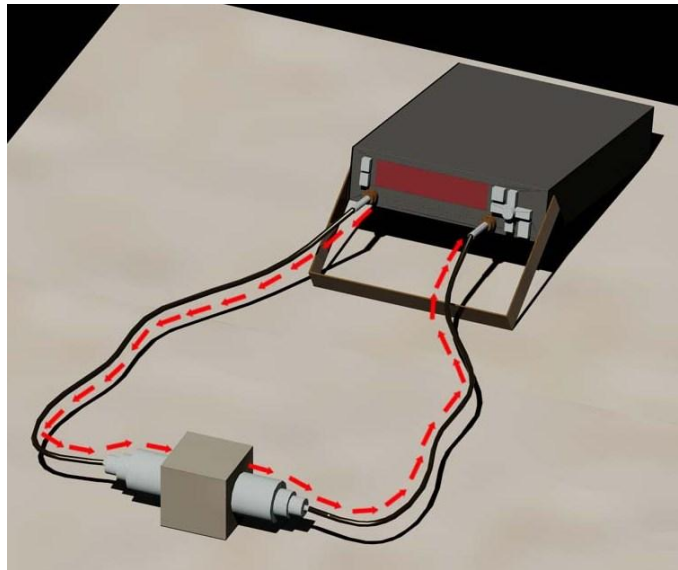


Figura 3.12 – Aparelho de ultrassons.

Os transdutores, segundo a norma EN12504-4, podem ser posicionados de três diferentes formas para que seja possível medir a velocidade de propagação das ondas ultrassónicas bem como o tempo de propagação. Na Figura 3.13 apresentam-se as três posições em que os transdutores podem ser colocados bem como os tipos de transmissões associados.

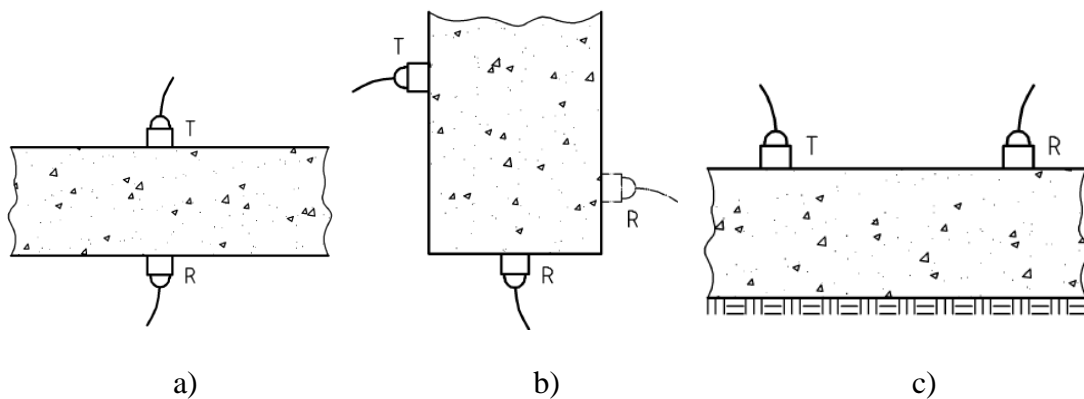


Figura 3.13 - Tipo de transmissões: a) transmissão direta; b) transmissão semi-direta; c) transmissão indireta (Adaptação de EN12504-4).

Segundo a norma EN 12504-4, para a transmissão direta o comprimento do percurso é a menor distância entre os dois transdutores sendo por isso transmitida a máxima energia do impulso; na transmissão semi-direta o comprimento de percurso não se encontra tão bem definido como o da transmissão direta mas conseguem obter-se medições satisfatórias desde

que o ângulo entre os transdutores não seja muito grande (Nepomuceno, 1999); na transmissão indireta é a que apresenta as medições menos satisfatórias.

3.4.1 Geometria e provetes

No ensaio efetuado na Universidade do Minho a velocidade de propagação dos ultrassons foi determinada para 10 provetes cúbicos, cujas dimensões eram 50 mm de lado, através da transmissão direta, uma vez que este é o método que permite obter os resultados mais precisos. O aparelho utilizado é o representado na Figura 3.14.

3.4.2 Equipamento e procedimento

Segundo a norma EN12504-4, o aparelho de ensaio deve ser calibrado utilizando uma barra padrão, para a qual o tempo de propagação é conhecido. Deve ter-se atenção e colocar em cada um dos transdutores um gel (próprio para ultrassons), de modo a facilitar a transmissão das ondas do aparelho para o material. Também é importante salientar que o gel auxilia na conexão dos transdutores aos provetes, tornando deste modo o processo mais similar entre todos os provetes de todas as regiões e diminuindo a possibilidade de haver mais contacto por parte dos transdutores nuns provetes do que noutros. A colocação do gel nos transdutores é necessária sempre que se analisa uma direção diferente no mesmo provete. Neste ensaio foram analisadas três direções (normal, paralela s1 e paralela s2), portanto as 6 faces em cada um dos provetes. Em cada direção a velocidade de propagação das ondas deve ser medida três vezes, sendo que este processo se repete para todos os provetes.



Figura 3.14 – Aparelho utilizado no ensaio de ultrassons.

3.4.3 Resultados experimentais

Na Tabela 3.5 apresentam-se os resultados obtidos para as três direções em estudo. Estas foram designadas utilizando três nomenclaturas, respetivamente, de forma a facilitar a análise dos resultados.

Para se obterem os valores apresentados na Tabela 3.5 é feita uma média dos valores médios de todos os provetes, nas diferentes direções. Além da média também é possível observar na Tabela 3.5 o coeficiente de variação, o valor máximo e mínimo da velocidade de propagação dos ultrassons.

Tabela 3.5 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de ultrassons.

Região	Vila Nova de Foz Côa			Serra de Arga			Carracedo de Montenegro		
Direção	\perp	//s ₁	//s ₂	\perp	//s ₁	//s ₂	\perp	//s ₁	//s ₂
Média (m/s)	3692,4	4428,8	5712,4	2280,9	2968,2	3782,7	1456,2	2695,3	4121,4
CV (%)	12,0	3,4	2,5	40,7	17,0	18,2	36,8	10,7	23,6
Valor máximo (m/s)	4237,0	4587,0	5952,0	3458,7	3740,3	4588,3	2380,0	3086,0	5617,0
Valor mínimo (m/s)	2958,0	4201,0	5617,0	813,0	2362,0	2460,7	999,7	2242,0	3204,7

Região	Sobral de São Miguel			Barqueiros		
Direção	\perp	//s ₁	//s ₂	\perp	//s ₁	//s ₂
Média (m/s)	626,0	5188,8	5267,5	2384,7	4822,4	5255,4
CV (%)	35,5	2,7	2,0	16,5	4,9	8,1
Valor máximo (m/s)	1028,0	5319,0	5338,0	2883,3	5050,0	5638,3
Valor mínimo (m/s)	365,0	5050,0	5067,3	1791,7	4398,0	4587,0

Na Figura 3.15 observam-se dois gráficos onde se relaciona a direção normal com a paralela s₁ e s₂, respetivamente. Denota-se que a direção paralela é a predominante, tanto para s₁ como para s₂.

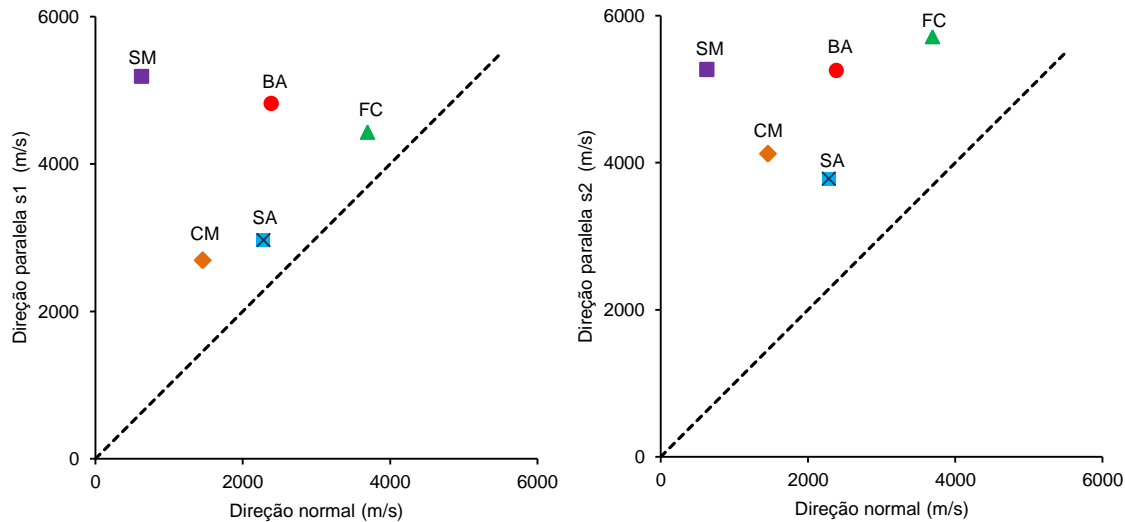


Figura 3.15 – Comparação de resultados da direção normal e paralela aos planos de anisotropia para o ensaio de ultrassons.

3.4.4 Discussão dos resultados

Na Tabela 3.5 verificam-se valores médios bastante diferentes para cada uma das regiões em estudo. Tal deve-se às diferentes propriedades dos materiais, neste caso das rochas em estudo uma vez que como já foi mencionado estas são de diferentes locais, apresentando, por isso, propriedades físicas e químicas diferentes. Também inseridas no mesmo tipo de rocha se verificam discrepâncias nos valores da velocidade dos ultrassons, isto porque são medidos em três direções nas quais existem diferentes propriedades, sendo por isso possível em determinadas direções obter valores bastante mais elevados do que em outras. Neste caso, a direção que apresenta os maiores valores é paralela (s_1 e s_2) e os menores, a normal.

Relativamente ao coeficiente de variação nota-se que este apresenta os maiores valores na direção normal para todas as regiões, logo uma maior dispersão dos valores obtidos para a velocidade de propagação. Para as outras duas direções, este também vai oscilando entre valores de maior e menor grandeza mas não atingindo valores tão elevados como na direção normal. As regiões FC, SM e BA são as que apresentam os menores valores de coeficiente de variação, para a direção paralela s_1 e s_2 , concluindo-se com isto que o conjunto de dados que deu origem à média é bastante homogêneo comparativamente com os valores observados para as restantes regiões. Com isto é possível verificar que estes resultados são mais coerentes do que os das outras regiões pois há pouca variação entre eles.

Nos gráficos da Figura 3.15 pode observar-se que a média das velocidades de ultrassons dos provetes de FC e SA se aproximam mais da reta a 45° embora ainda tenham os maiores valores médios na direção paralela. Estas duas regiões demonstram através dos resultados obtidos o que é visível por observação, ou seja, no caso de FC os planos de anisotropia encontram-se muito próximos uns dos outros, podendo assim os ultrassons propagar-se com grande velocidade e no caso de SA pouco definidos não facilitando nesta situação a propagação dos ultrassons e tornando desta forma os valores mais próximos. No que se refere às regiões de CM, SM e BA, estas apresentam uma acentuada predominância dos maiores valores na direção paralela, sendo de salientar SM, pois é a região que maior velocidade apresenta. Esta região comprova o que já se mencionou sobre a definição dos planos, pois como tem muito boa definição na direção paralela apresenta os maiores valores de velocidade.

Concluindo, a direção paralela apresenta sempre os maiores valores médios devido à maior facilidade de propagação das ondas ao longo dos planos. No caso da direção normal, tal não se verifica pois a onda ao atravessar os provetes perpendicularmente aos planos de anisotropia encontra espaços vazios que reduzem a velocidade.

Segundo os estudos efetuados por Pinho (2003), os xistos tem o valor máximo de velocidade de ultrassons, quando a xistosidade é paralela à direção de propagação das ondas e o valor mínimo quando a xistosidade é perpendicular à direção de propagação das ondas. Este estudo efetuado por Pinho (2003) confirma os resultados obtidos para os estudos efetuados na Universidade do Minho para este ensaio. No entanto, é importante salientar o facto de que nos estudos deste autor a dimensão dos provetes não é mencionada e a localização deste xisto não faz parte de nenhuma das regiões em estudo.

É importante referir que para a região SM apenas foram utilizados 8 provetes devido à rotura prematura nos ensaios realizados anteriormente, enquanto para as restantes regiões foram utilizados 10 provetes.

3.5 Determinação da resistência à compressão

O ensaio de compressão tem como objetivo a obtenção da resistência à compressão de pedras naturais como é o caso do xisto. Segundo a norma NP EN 1926:2000, antes de serem ensaiados, os provetes devem ter as suas superfícies retificadas ou revestidas com uma argamassa (se tal for necessário), para que estas se apresentem planas no momento do ensaio,

no entanto, admite-se uma tolerância de 0,1 mm. Também antes do decorrer do ensaio, os provetes quer estejam revestidos, ou não, devem ser secos à temperatura de 75° C até atingirem massa constante. Esta é atingida quando a diferença entre duas pesagens sucessivas efetuadas com um intervalo de mais ou menos 24 horas não for superior a 0,1% da massa do provete.

Na realização do ensaio devem utilizar-se pelo menos 6 provetes em cada direção demonstrando claramente qual a direção em que o ensaio está a ser realizado. Estes provetes podem ser cubos ou cilindros retos com a base circular, com as dimensões em ambos os casos entre (70 ± 5) ou (50 ± 5) mm. Na Figura 3.16 estão representados os esquemas dos provetes cúbicos e cilíndricos que se devem utilizar para o ensaio bem como a exemplificação da carga aplicada na normal e paralela ao plano de anisotropia, respetivamente.

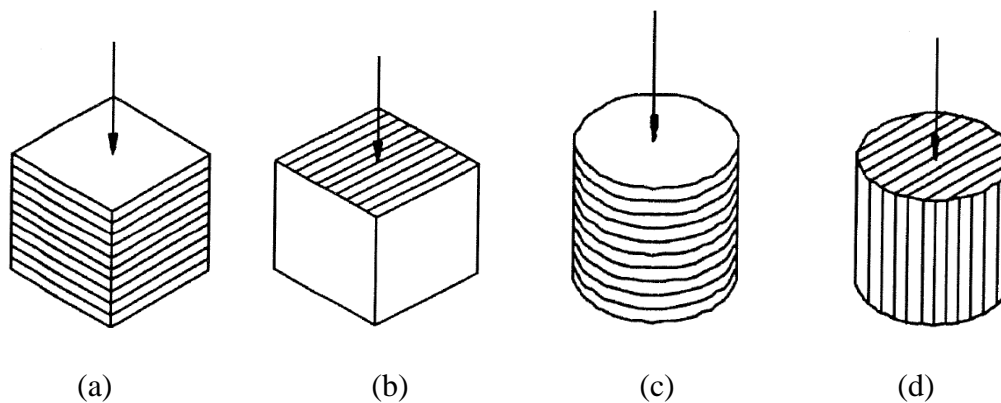


Figura 3.16 – Provetes cúbicos: (a) carga perpendicular aos planos de anisotropia; (b) carga paralela aos planos de anisotropia. Provetes cilíndricos: (c) carga perpendicular aos planos de anisotropia; (d) carga paralela aos planos de anisotropia (EN NP 1926- 2000).

3.5.1 Geometria e provetes

No ensaio de compressão efetuado na Universidade do Minho foram tidos em consideração os aspetos enunciados na norma EN NP1926-2000. Neste estudo foram utilizados pela última vez os 10 provetes utilizados ao longo dos ensaios anteriores, pois ao contrário dos restantes ensaios este é destrutivo. Os provetes são cúbicos de 50 mm de lado.

3.5.2 Equipamentos e procedimentos do ensaio

Antes de se iniciar o ensaio procedeu-se à retificação dos provetes de SM, pois estes não apresentavam as superfícies planas como é previsto na norma. Uma vez concluído este

processo, todos os provetes foram colocados no forno a uma temperatura de 75° C até que fosse atingida a massa constante.

Importante referir que antes de se colocar a máquina de compressão a funcionar, esta deve ser configurada em função da dimensão e do tipo de provete.

Uma vez inseridos os dados, o provete de xisto é colocado centralmente sobre o prato da prensa do ensaio como se observa na Figura 3.17 e é aplicada no provete uma carga uniformemente distribuída de forma crescente até à rotura do provete.



Figura 3.17 - Ensaio de resistência à compressão uniaxial.

3.5.3 Resultados experimentais

Segundo a norma EN NP 1926-2000, a resistência à compressão de cada provete é expressa como sendo o quociente entre a carga de rotura do provete pela sua área e é indicada pela equação (5):

$$R = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Em que R representa a resistência à compressão (MPa), F , a força aplicada (N) e A , a área do provete onde é aplicada a força (mm²).

Na Tabela 3.6 apresentam-se os valores médios de resistência à compressão, bem como o coeficiente de variação e o valor máximo e mínimo, para as duas direções, para os pontos oriundos das regiões. Verificou-se que a região FC tem os valores médios de resistência à compressão, tanto numa direção como noutra, mais elevados do que as restantes. A região SA

tem valores médios de resistência menores relativamente a todas as outras. No que se refere às restantes regiões (CM, SM e BA) verifica-se uma variabilidade de valores médios de resistência na direção normal e paralela.

Tabela 3.6 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Média (MPa)	144,9	151,9	46,0	45,4	79,1	98,4	53,6	29,7	142,3	88,6
CV (%)	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
Valor máximo (MPa)	162,3	177,8	59,1	61,6	85,6	142,0	76,8	43,0	173,1	120,9
Valor mínimo (MPa)	123,5	133,2	33,2	26,3	65,8	71,2	38,9	25,1	113,4	68,0

O gráfico da Figura 3.18 permite visualizar e comparar os resultados da direção normal e paralela aos planos de anisotropia, expostos na Tabela 3.6, de uma forma mais esclarecedora.

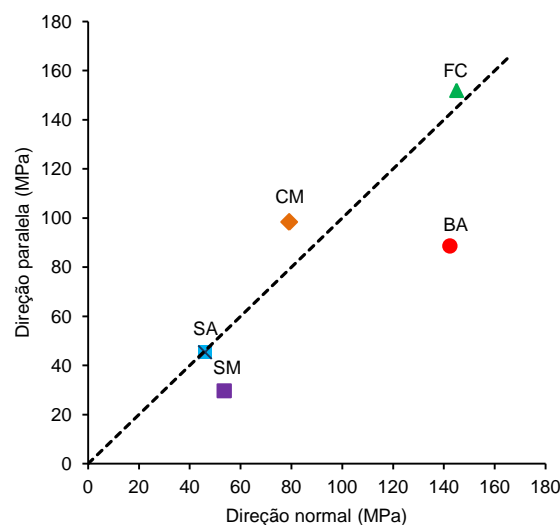


Figura 3.18 - Comparação de resultados de resistência à compressão na direção normal e paralela aos planos de anisotropia.

Na Figura 3.19 ilustra-se o modo de rotura típico nos provetes das diferentes regiões em estudo. Pela observação visual, verifica-se que os provetes que apresentam o maior grau de fracturação são os FC, tanto na direção normal como na paralela. Os provetes ficam de tal modo destruídos que a maior parte das vezes se torna pouco perceptível qual a direção em que

foram ensaiados. Os provetes SA e CM, relativamente à direção normal, têm roturas parecidas pois quando fraturam segundo esta direção, não apresentam as falhas segundo os planos normais, estas aparecem mais curvilíneas distribuindo-se por todo o provete. Na direção paralela para SA a rotura apresenta-se de várias formas, umas vezes pelo plano de ensaio (rotura na direção paralela) (Figura 3.19), outras vezes apenas com rotura de fragmentos ou sem grandes falhas (anexo D). Para CM na mesma direção, as falhas já se apresentam segundo planos paralelos. SM tem roturas de mais fácil identificação. Na direção normal a rotura aparece curvilínea ficando o provete dividido em 2 partes (caso do provete da Figura 3.19) ou noutras situações em que os provetes apresentam nos vértices apenas pequenos fragmentos (ver anexo D). Na direção paralela a rotura dá-se exatamente segundo esta direção. O provete apresenta-se dividido em várias lâminas, umas com mais espessura do que outras, que parecem ter sido “descoladas” umas das outras sem destruição do material. Por fim, os provetes BA, para a direção normal não apresentam muitas falhas sendo mais visível pequenas fraturas em volta do provete. Na direção paralela vão-se observando as falhas na direção de aplicação da carga contudo, estas aparecem de formas diferentes. Encontrando-se no meio do provete numas situações e noutras nas laterais do provete.

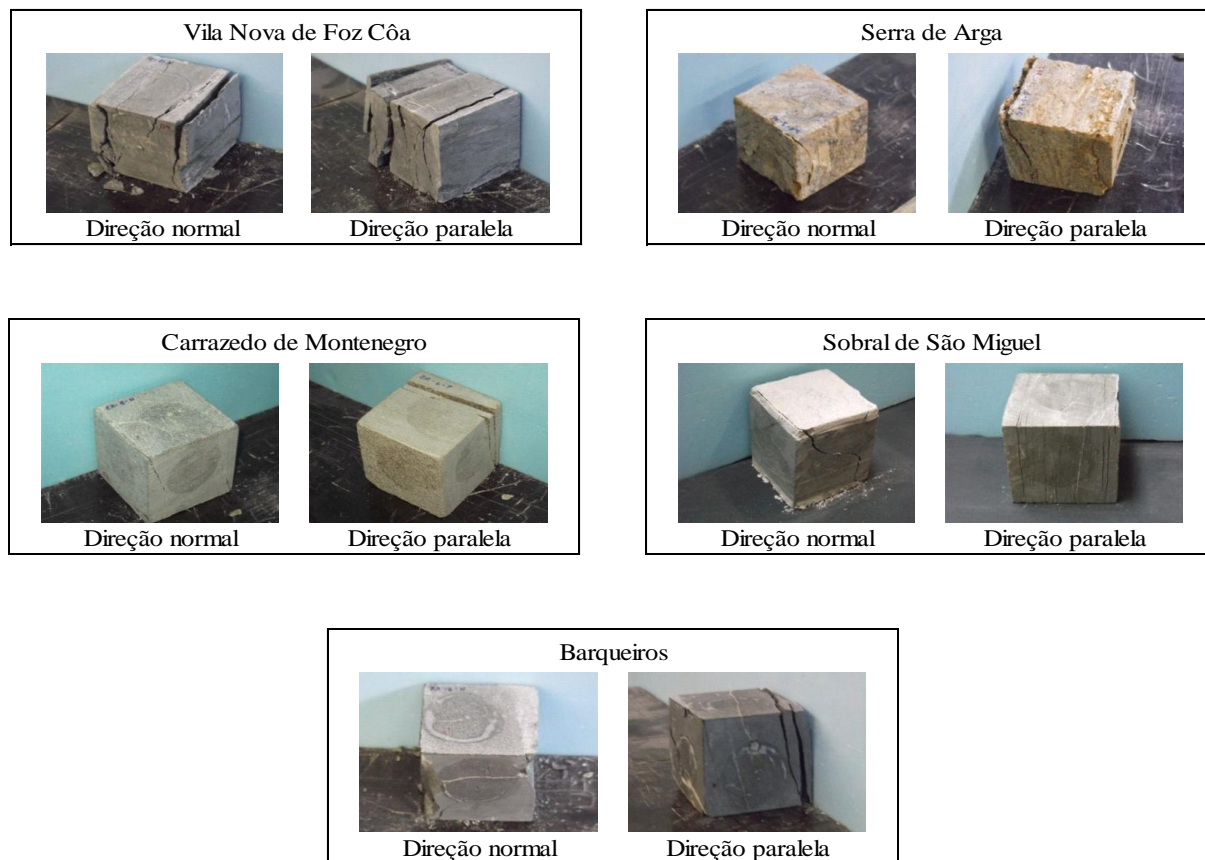


Figura 3.19 – Rotura típica nos provetes das diferentes regiões.

No anexo D apresenta-se uma tabela detalhada onde são visíveis os provetes ensaiados com os respetivos modos de rotura, assim como a força para a qual romperam.

3.5.4 Discussão dos resultados

Através dos resultados obtidos na Tabela 3.6 e da conversão dos mesmos no gráfico da Figura 3.18 é possível verificar que os provetes que oferecem maior resistência à compressão são os FC, tanto na direção normal como na direção paralela. Como os valores de resistência à compressão são muito próximos quer na direção normal quer na paralela, pressupõe-se que tal aconteça devido à foliagem compacta que os provetes desta região apresentam. No entanto, outros aspetos podem ter influência, como por exemplo: a existência de uma terceira direção (direção diagonal).

Nos provetes SA verifica-se uma baixa resistência à compressão por serem rochas que tem associados fatores como uma fraca compactação e planos de anisotropia pouco definidos. A par desta região encontra-se SM com valores de resistência à compressão igualmente baixos, tendo esta a diferença de apresentar os valores mais baixos para a direção paralela. Isto acontece porque nesta direção os planos de anisotropia estão bem definidos e o fácil destacamento das lâminas (situação que não se verifica com tanta facilidade nos restantes provetes nem na direção normal) proporcionam a obtenção dos tais valores mais reduzidos.

Relativamente aos valores de resistência observados para CM denota-se que estes são valores intermédios comparativamente aos observados para as restantes regiões em estudo, no entanto a direção paralela tem um valor médio de resistência um pouco superior à direção normal.

Os provetes BA apresentam uma elevada resistência à compressão na direção normal praticamente igual a FC concluindo-se que estes também são provetes de foliagem bastante compacta. No entanto, na direção paralela os valores são menores pois trata-se da direção em que é aplicada a força de compressão e os planos são bem definidos. Importa salientar que embora nesta região os provetes tenham planos de anisotropia compactos, estes não o são tanto quanto os de FC, daí haver uma discrepância nos valores de resistência observados para a direção normal e para a direção paralela.

Efetuada uma análise geral aos valores médios obtidos para a resistência à compressão, nas duas direções, estranha-se um pouco o facto de que para as regiões FC e CM, os valores

médios obtidos sejam superiores na direção paralela pois esta é a direção que supostamente deveria oferecer menor resistência. De forma a comprovar que tal pode acontecer apresentam-se na Tabela 3.7 resultados do ensaio à compressão, de 10 provetes, executado por Búrcio (2004) para xistos provenientes das pedreiras do Poio, em FC. Embora as designações das direções utilizadas por Búrcio (2004) não sejam iguais às utilizadas no estudo efetuado na Universidade do Minho, procurar-se-á através de uma analogia facilitar a compressão do leitor. Tendo em consideração a informação fornecida pelo autor verifica-se que a direção perpendicular a S_0 é considerada no estudo da Universidade do Minho como sendo a direção normal, a direção perpendicular a S_1 também considerada como sendo uma normal mas no caso dos ensaios da Universidade do Minho esta direção não é analisada e a direção paralela a S_0 e S_1 como sendo a direção paralela.

Com estes resultados pode então comprovar-se que os valores de resistência à compressão não têm necessariamente de ser todos superiores na direção normal. Há situações em que a direção paralela prevalece.

Tabela 3.7 – Tensão de rotura (Búrcio, 2004).

Referência da amostra	Tensão de ruptura (MPa)		
	Planos de ensaio		
	Perpendicular S_0	Perpendicular S_1	Paralelo a S_0 e S_1
15.1	97,9	125,4	158,9
15.2	100,1	66,2	184,0
15.3	43,5	57,4	112,9
15.4	110,5	64,0	137,3
15.5	95,8	50,0	173,2
25.1	32,0	106,9	221,3
25.2	62,5	82,9	206,2
98.1	34,6	102,3	161,5
98.2	75,1	53,4	141,9
215	18,5	66,5	124,3

Relacionando os valores obtidos no ensaio efetuado por Búrcio (2004) e no ensaio efetuado na Universidade do Minho, apenas relativamente a FC, verifica-se que os valores médios não são muito afastados na direção paralela (166,2 MPa e 151,9 MPa, respetivamente). Na direção normal, tal já não se verifica apresentando-se para o ensaio efetuado por Búrcio (2004) um valor médio de resistência à compressão de 67,1MPa e de 144,9 MPa para o ensaio efetuado na Universidade do Minho. Contudo, é importante referir que existe uma pequena diferença na dimensão dos provetes entre os ensaios efetuados por Búrcio (2004) e os realizados na

Universidade do Minho, sendo no primeiro caso utilizados provetes cúbicos com 60 mm de lado e no segundo, provetes cúbicos com 50 mm de lado. A quantidade de provetes utilizados em cada uma das direções foi outro aspeto em que estes dois estudos diferiram. No primeiro caso foram utilizados 10 provetes em cada direção enquanto, no segundo foram utilizados 6.

Tendo por base a Tabela 3.8 classificou-se de uma forma qualitativa os valores médios obtidos de resistência à compressão para as regiões em estudo. Esta classificação encontra-se apresentada na Tabela 3.9.

Tabela 3.8 – Classes de resistência à compressão uniaxial propostas pela BGD (Adaptação de ISRM, 1981).

Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Classe	Descrição
> 200	S ₁	Muito elevada
	S ₁₋₂	Elevada
60 - 200	S ₂	Elevada
20 - 60	S ₃	Moderada
6 - 20	S ₄	Baixa
	S ₄₋₅	Baixa
<6	S ₅	Muito baixa

Tabela 3.9 – Classificação de resistência à compressão média dos provetes de xisto das regiões em estudo.

Região	Direção	Resistência à compressão média (MPa)	Classe	Descrição
FC	⊥	144,9	S ₂	Resistência elevada
	//	151,9	S ₂	Resistência elevada
SA	⊥	46,0	S ₃	Resistência moderada
	//	45,4	S ₃	Resistência moderada
CM	⊥	79,1	S ₂	Resistência elevada
	//	98,4	S ₂	Resistência elevada
SM	⊥	53,6	S ₃	Resistência moderada
	//	29,7	S ₃	Resistência moderada
BA	⊥	142,3	S ₂	Resistência elevada
	//	88,6	S ₂	Resistência elevada

3.6 Determinação do índice de carga de ponta

O ensaio de carga de ponta (“Load Point Test”) permite determinar a resistência de um provete quando sobre este é aplicada uma carga pontual compressiva provocando no interior uma força de tração (Miranda, 2011). A realização do ensaio de carga de ponta deve ser efetuada seguindo os procedimentos da ISRM (“Internacional Society for Rock Mechanics”),

na qual menciona que se deve aplicar uma carga pontual crescente comprimindo as carotes de sondagens obtidas das rochas, com o diâmetro a oscilar entre os 25 e os 100 mm, entre duas ponteiros e assim provocar a sua rotura.

Segundo o ISRM, existe um padrão para o índice de carga de ponta, o qual é definido para os ensaios de carga de ponta realizados com provetes cilíndricos com diâmetro D igual a 50 mm, na qual a aplicação da carga é diametral (equação (6)), no entanto, nem todos os provetes cilíndricos tem este diâmetro e nem todos são cilíndricos e para estes o índice de carga pontual é calculado tendo em conta um fator corretivo F para que se obtenha um índice de carga de ponta normalizado. Na Figura 3.20 são apresentados casos em que os provetes podem ter outras formas mas desde que obedeçam aos critérios que cada forma impõe.

$$I_{s(50)} = \frac{P}{D^2} \quad (6)$$

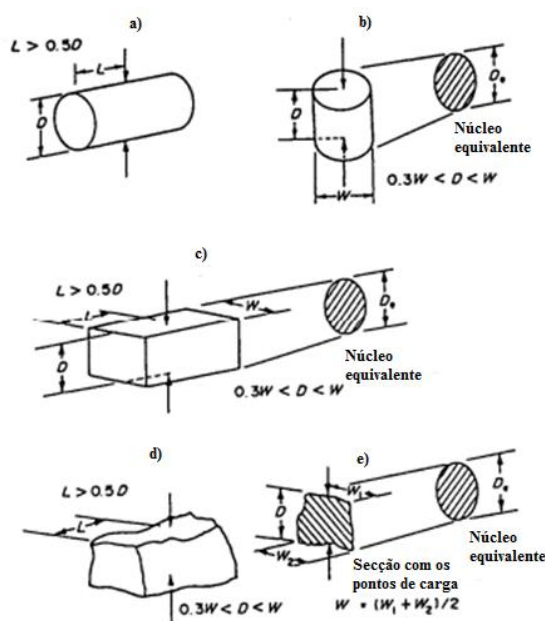


Figura 3.20 – Requisitos sobre as formas dos provetes: a) teste diametral; b) teste axial; c) teste do bloco e d) teste do bloco irregular (Adaptação de ISRM).

Nestas situações é necessário determinar um diâmetro equivalente D_e , o qual corresponde a uma secção circular com a área igual à da secção transversal do provete que se está a ensaiar. Sendo o índice de carga de ponta normalizado calculado a partir desse valor.

Na Figura 3.21 estão presentes os modos de rotura que a ISRM considera válidos e não válidos para o ensaio de carga de ponta.

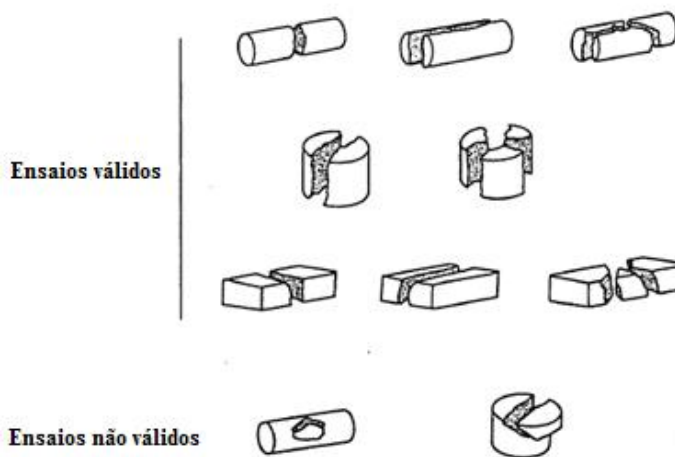


Figura 3.21 – Modos de rotura típicos válidos e não válidos (Adaptação de ISRM).

3.6.1 Geometria e provetes

No ensaio efetuado na Universidade do Minho foram utilizados 10 provetes cúbicos com 50 mm de lado, visto que os utilizados até aqui foram destruídos no ensaio da compressão. Utilizaram-se 5 provetes para a direção normal e outros 5 para a direção paralela.

3.6.2 Equipamento e procedimento do ensaio

O ensaio inicia-se com a colocação do provete entre as duas ponteiras metálicas existentes no aparelho da Figura 3.22. Com o decorrer do ensaio, as ponteiras aproximam-se, logo começam a pressionar o provete até que este entre em rotura.



Figura 3.22 – Aparelho de ensaio de carga de ponta.

3.6.3 Resultados experimentais

Segundo a ISRM, para o cálculo do índice de carga de ponta em provetes cúbicos devem ter-se em consideração os aspetos já descritos anteriormente e por isso utilizada a equação (7):

$$I_s = F \frac{P}{D_e^2}, \text{ sendo } F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (7)$$

Como D_e no caso em estudo é 50 mm, conclui-se que o fator corretivo F é igual a 1.

Na Tabela 3.10 encontram-se os valores médios dos índices de carga de ponta para as amostras de xisto das regiões em estudo, nas duas direções, bem como o coeficiente de variação e o valor máximo e mínimo para cada uma delas. No anexo E encontra-se uma tabela detalhada com a carga de ponta obtida para cada um dos provetes bem como o aspeto final destes após terem sido ensaiados.

Tabela 3.10 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de carga de ponta.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Média (Is)	5,0	4,8	1,5	1,1	1,9	1,3	2,1	0,5	4,0	1,8
CV (%)	18,39	8,47	17,15	9,23	12,57	21,86	42,23	29,17	68,48	36,54
Valor máximo (Is)	6,2	5,5	1,7	1,2	2,2	1,6	3,5	0,7	8,1	2,5
Valor mínimo (Is)	3,8	4,4	1,1	1,0	1,6	1,0	1,4	0,3	1,6	0,8

Observando os resultados verifica-se que a região com maior valor médio do índice de carga de ponta, tanto na direção normal como paralela é FC, por outro lado SA é a região onde os valores são menores. Relativamente a CM, SM e BA apresentam valores médios mais elevados do índice de carga de ponta para a direção normal enquanto os da direção paralela são relativamente baixos. O gráfico da Figura 3.23 representa os resultados apresentados na Tabela 3.10 para que se possam analisar de uma maneira mais concisa.

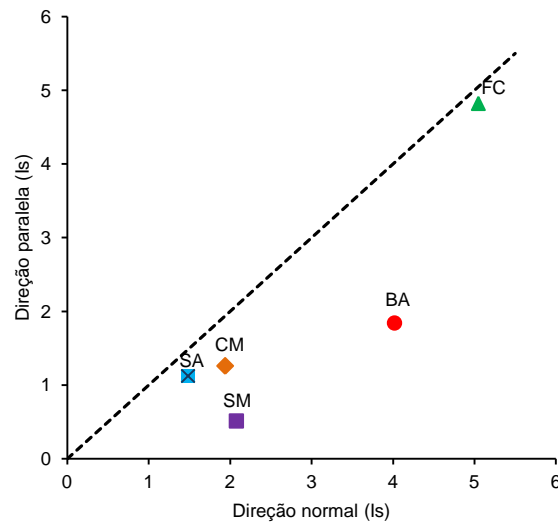


Figura 3.23 - Comparação de resultados da direção normal e paralela aos planos de anisotropia para o ensaio de carga de ponta.

Na Tabela 3.11 está descrito o modo de rotura que foi verificado para os provetes de SM. No anexo E encontram-se as tabelas elaboradas para as restantes regiões.

Tabela 3.11 – Descrição do modo de rotura verificado para os provetes de SM.

Região	Sobral de São Miguel		
Direção	Provete	Força (N)	Modo de rotura
Perpendicular ao plano de anisotropia	P1	8840	Rotura com destacamento de dois fragmentos de rocha na parte superior do provete e na parte inferior rotura do provete perpendicularmente à direção de aplicação da força.
	P2	4480	Rotura com destacamento de dois pequenos fragmentos de rocha na parte superior do provete.
	P3	3530	Rotura com destacamento de um pequeno fragmento de rocha na parte superior do provete.
	P4	5490	Rotura com destacamento de um pequeno fragmento de rocha na parte superior do provete.
	P5	3600	Rotura com destacamento de dois pequenos fragmentos de rocha na parte superior do provete.
Paralela ao plano de anisotropia	P1	1120	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P2	1800	Rotura na direção da aplicação da carga, no entanto, são observáveis ligeiros desvios da fenda em relação à linha de rotura.
	P3	1400	Rotura na direção de aplicação da carga.
	P4	780	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P5	1330	Rotura na direção da aplicação da carga.

3.6.4 Discussão dos resultados

Através do gráfico da Figura 3.23 nota-se que para o ensaio de carga de ponta, a direção normal é a que apresenta maiores valores médios, no entanto, em certas regiões como é o caso de FC a resistência apresenta valores muito próximos tanto para a direção normal como para a paralela, comprovando-se o que já se tinha verificado para o ensaio de resistência à compressão. Relativamente a SA verifica-se novamente que apresenta valores baixos e não muito distantes devido à indefinição dos planos de anisotropia. Em relação a CM, SM e BA denota-se uma tendência para valores mais elevados de carga de ponta na direção normal. A direção paralela apresenta os menores valores pois a rotura dá-se pelo destacamento dos planos de anisotropia, os quais se encontram no sentido de aplicação da carga. Concluindo, é preciso mais força para quebrar os planos do que para os destacar.

O que se verifica neste ensaio pode em parte ser comprovado com os ensaios efetuados por Gomes e De Almeida (2003) também para as pedreiras do Poio, em FC. Nos seus ensaios de carga de ponta Gomes e De Almeida (2003) concluíram que os provetes ensaiados na direção paralela à xistosidade são muito menos resistentes do que os ensaiados na direção normal. Todavia há que salientar o facto de que estes autores não tiveram em consideração as dimensões dos provetes e que estes antes de serem ensaiados continham uma certa humidade. Estes dois fatores podem ter bastante influência nos resultados obtidos. Prova disso é o facto do ensaio efetuado na Universidade do Minho para os provetes de FC darem resultados muito próximos na direção normal e paralela.

Embora as unidades utilizadas para o índice de carga de ponta sejam em I_s , pensou-se que apresentar os valores em MPa seria uma forma de perceber a resistência que estes apresentam segundo o ponto de vista de certos autores. Assim, com base na Tabela 3.12 pode classificar-se qualitativamente os provetes em estudo.

Tabela 3.12 – Classificação da resistência da carga pontual (Adaptação de Franklin e Broch, 1972).

	Índice de carga de ponta (MPa)	Resistência à compressão uniaxial equivalente (MPa)
Resistência extremamente elevada	Mais de 10	Mais de 160
Resistência muito elevada	3-10	50-160
Resistência elevada	1-3	15-60
Resistência média	0,3-1	5-16
Resistência baixa	0,1-0,3	1,6-5
Resistência muito baixa	0,03-0,1	0,5-1,6
Resistência extremamente baixa	Menor que 0,03	Menor que 0,5

Na Tabela 3.13 encontram-se classificados qualitativamente os provetes de cada uma das regiões em estudo, para ambas as direções. Denota-se, como já vem sendo do dito, que os provetes com maior resistência são os de FC.

Tabela 3.13 – Classificação qualitativa da resistência do índice de carga de ponta.

Região	Direção	Índice de carga de ponta (MPa)	Descrição
FC	⊥	5,0	Resistência muito elevada
	//	4,8	Resistência muito elevada
SA	⊥	1,5	Resistência elevada
	//	1,1	Resistência elevada
CM	⊥	1,9	Resistência elevada
	//	1,3	Resistência elevada
SM	⊥	2,1	Resistência elevada
	//	0,5	Resistência média
BA	⊥	4,0	Resistência muito elevada
	//	1,8	Resistência elevada

3.7 Determinação da resistência à cristalização de sais

O ensaio de resistência à cristalização de sais, segundo a norma NP EN 12370:2001, é efetuado com o objetivo de avaliar a resistência à cristalização dos sais nas pedras naturais e os danos causados pela cristalização destes sais nas pedras, cuja porosidade aberta seja superior a 5%. Segundo a norma, este ensaio não deve ser feito sem ter em consideração outros ensaios que recorram a testes físicos tendendo para que se avalie a durabilidade.

Para que possa ser executado este ensaio, a norma refere que devem ser utilizados pelo menos 6 provetes cúbicos de 40 mm de lado. Estes devem ser bem lavados para retirar qualquer material solto que se encontre preso a eles e depois colocados num forno a uma temperatura de 105° C até que seja atingida a massa constante, situação que só acontece quando a diferença entre duas pesagens sucessivas não for superior 0,1% da massa inicial do provete, num intervalo de tempo de 24 horas.

Na realização do ensaio também é requerida a utilização de uma solução de sulfato de sódio, onde os provetes são mergulhados durante um período de tempo, seguidos de secagem, aquecimento e depois de arrefecimento à temperatura ambiente. De salientar que este processo deve ser realizado 15 vezes, exceto no caso de ocorrer a rotura dos provetes. No caso de a rotura ocorrer antes, os provetes devem ser bem lavados e depois colocados no forno até que seja atingida massa constante.

No ensaio executado na Universidade do Minho, foi tida em consideração a norma NP EN 12370:2001, sobre a qual já foram feitas algumas considerações relativamente ao ensaio. Este ensaio foi realizado em duas fases uma vez que se tinham muitos provetes para analisar. Assim sendo, numa primeira fase foram ensaiados os provetes SM e BA e numa segunda fase os provetes FC, SA e CM.

3.7.1 Geometria e preparação dos provetes

Tal como mencionado na norma foram utilizados 6 provetes cúbicos de xisto de 40mm de lado, para cada uma das regiões. Estes foram pesados e colocados no forno a uma temperatura de 105° C até ser atingida massa constante.

3.7.2 Equipamento e procedimento do ensaio

Findo o processo de arrefecimento, é feito um registo fotográfico individual de cada provete para que seja possível ao longo dos ciclos do ensaio observar as alterações que vão ocorrendo. Os provetes são mergulhados num reservatório onde se encontra uma solução de sulfato de sódio decahidratado, devendo estar completamente imersos (2mm a 8mm acima da altura dos provetes, segundo a norma EN NP 12370:2001) durante duas horas. Durante este período de tempo é necessário que o reservatório se encontre fechado para que não ocorra a evaporação de sais.

Passadas duas horas, os provetes são retirados da solução e colocados no forno à temperatura de 105° C durante cerca de 20 horas sendo depois retirados do forno e arrefecidos à temperatura ambiente durante 1 hora e 30 minutos. A partir daqui o processo repete-se sempre da mesma forma até que algum dos provetes entre em rotura antes dos 15 ciclos terminarem. No caso dos provetes ensaiados na primeira fase (SM e BA), a rotura ocorreu para todos os provetes de SM e para dois de BA. Na segunda fase de ensaios (FC, SA e CM) só se fraturaram três provetes de CM. No caso destes provetes que se fraturaram devem ser bem lavados e depois colocados no forno até que seja atingida massa constante.

3.7.3 Resultados experimentais

Segundo a norma NP EN 12370:2001, os resultados obtidos a partir do ensaio de cristalização de sais são determinados a partir da equação (8):

$$\Delta M = \frac{M_f - M_d}{M_d} \times 100 \quad (8)$$

Em que ΔM representa a diferença de massa em percentagem, que neste ensaio pode ser perda ou ganho, M_d a massa inicial e M_f a massa final.

Na Tabela 3.14 observa-se as regiões em que houve ganho ou perda de massa pelo sinal positivo ou negativo, respetivamente. No anexo F encontra-se uma tabela em que se pode observar a variação de massa de cada provete, para cada região bem como imagens mostrando o aspeto inicial e final de cada provete. Na Tabela 3.14 apenas estão representados os valores médios, o coeficiente de variação e os valores máximos e mínimos para se puder ter uma visão geral dos resultados obtidos para o ensaio.

O gráfico da Figura 3.24 ilustra os resultados obtidos na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Resumo dos resultados obtidos através do ensaio de cristalização de sais.

Região	Vila Nova de Foz Côa	Serra de Arga	Carracedo de Montenegro	Sobral de São Miguel	Barqueiros
Média (%)	0,15	-0,36	-1,09	0,42	0,38
CV (%)	0,35	-1,31	-1,33	0,56	0,16
Valor máximo	0,22	0,18	0,30	0,89	0,46
Valor mínimo	0,06	-1,23	-3,37	0,27	0,30

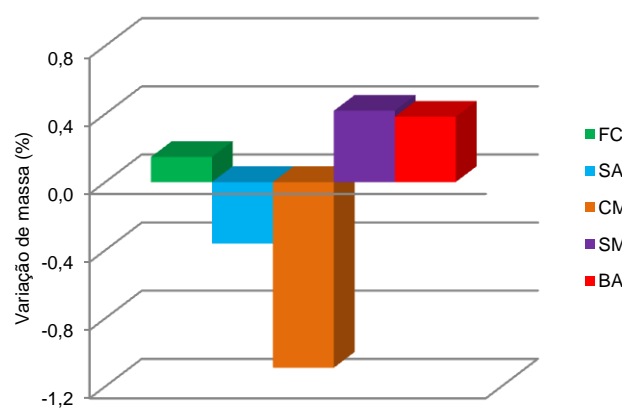


Figura 3.24 - Comparação dos resultados do ensaio de resistência à cristalização de sais das várias regiões.

3.7.4 Discussão dos resultados

Na Tabela 3.14 verifica-se que a região de FC tem a menor percentagem de diferença de massa e o sinal “positivo” que apresenta indica que houve ganho de massa. Tal não se verifica para SA e CM, pois apresentam sinais “negativos” elucidando para perda de massa, logo rotura de alguns dos provetes. Embora estas duas regiões apresentem perda de massa, CM é a região em que esta assume valores bem maiores e mais significativos, pois tem uma maior percentagem relativamente a qualquer uma das outras regiões quer aquelas em que há perda quer aquelas em que há ganho de massa.

Contrariamente ao que se pode perceber nem sempre o sinal é indicador do que acontece com os provetes. No caso de SM observando a tabela pressupõe-se que estes ganharam massa devido ao facto de nenhum ou quase nenhum provete ter entrado em rotura. Na verdade tal não acontece, esta é a região para a qual os provetes se fraturaram todos e, no entanto, verifica-se ganho de massa. A justificação para tal facto ocorrer deve-se à rotura dos provetes de SM em lâminas e onde podem permanecer os cristais de sais que não foram totalmente removidos aquando da lavagem do provete com água potável. Na Figura 3.25 observa-se os fragmentos em que o provete se divide (setas a preto) bem como partes do provete que embora não tenham entrado em rotura apresentam pequenas fissuras onde se encontram os cristais de sais que não foi possível retirar com a lavagem (setas a azul). A remoção destes sais só seria possível caso se induzisse a rotura no provete para poder lavá-lo, o que iria alterar o seu aspeto final. Esta explicação embora possa suscitar algumas dúvidas é válida de se utilizar uma vez que estes provetes têm a particularidade, relativamente aos das outras regiões, de se dividirem em lâminas de maiores ou menores dimensões. As lâminas que não se destacam acumulam os sais levando ao aumento de massa do provete embora este tenha fraturado.

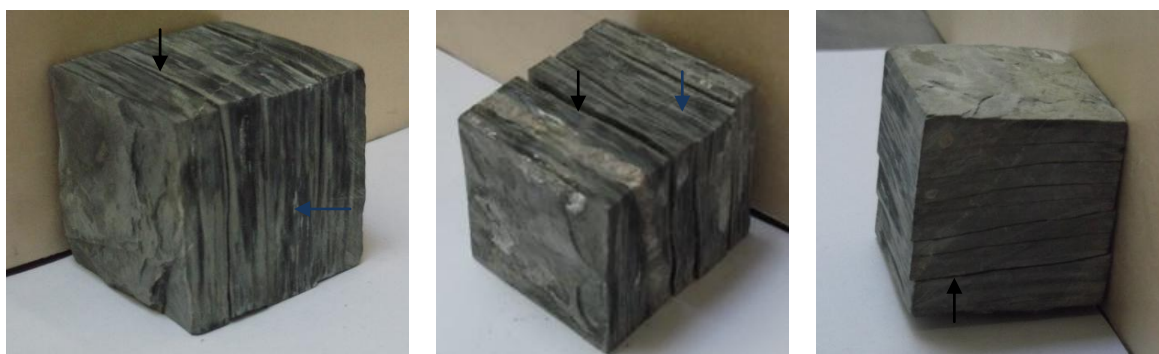


Figura 3.25 – Provetes de Sobral de São Miguel divididos em fragmentos após o ensaio.

Na Figura 3.26 observa-se um exemplo de um provete de cada região. No caso dos provetes de FC nenhum sofreu rotura sendo apenas visível a alteração na coloração da pedra e a marcação mais carregada de certas discontinuidades do provete. Esta conclusão pode ser colmatada com os estudos de Búrcio (2004) que menciona que os xistos das pedreiras do Poio, em FC, são rochas que fisicamente apresentam uma boa estabilidade, não comportando quase nenhuma modificação.

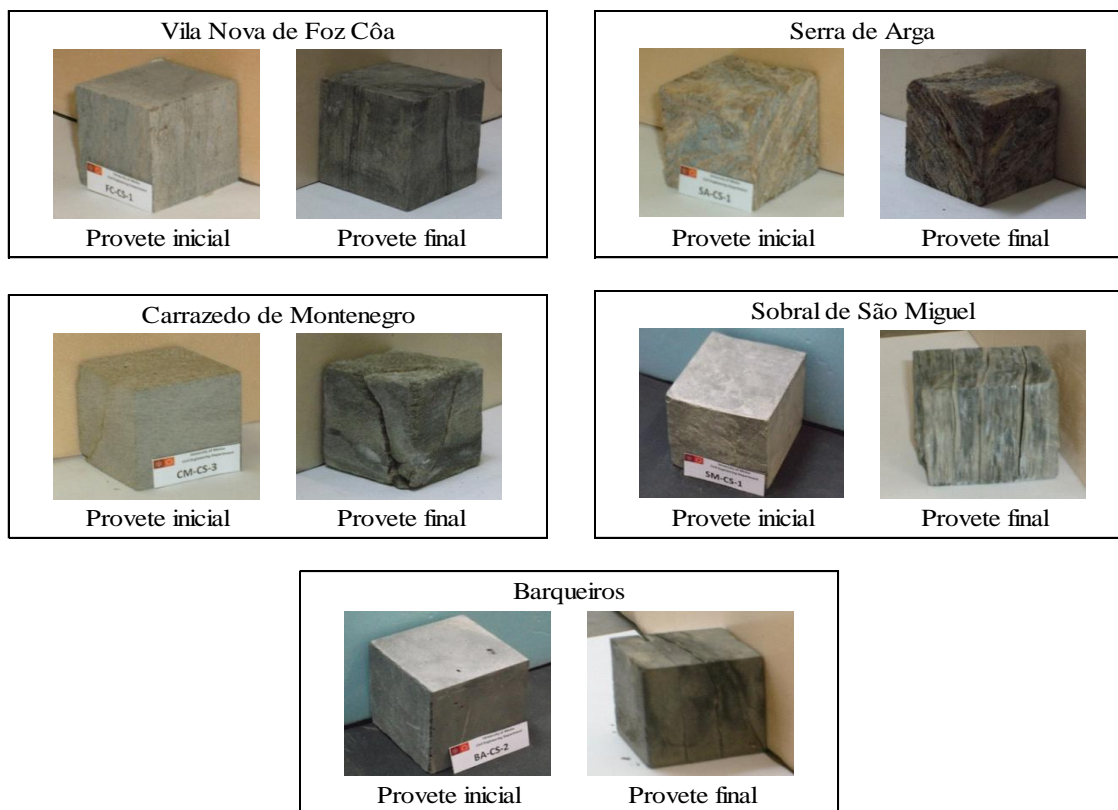


Figura 3.26 – Estado inicial e final de um provete de cada região.

Tal como se verificou para FC nenhum dos provetes de SA entrou em rotura, com efeito, neste caso os provetes apresentaram um aspeto final bem diferente do observado para FC. Estes com o decorrer do ensaio vão perdendo massa e apresentando um aspeto cada vez mais erodido principalmente nas faces. No caso de CM houve a rotura de 3 provetes associada a uma elevada degradação do mesmo provete, e daí a elevada perda de massa. Nos provetes que se fraturaram houve o destacamento de um grande fragmento de pedra, nos provetes em que tal não aconteceu houve uma elevada erosão dos provetes especialmente nos vértices e nas laterais destes. Esta erosão demonstra o quanto certos minerais são afetados pelos sais. Os

provetes de SM fraturaram todos devido à sua constituição física. Estes parecem bastante frágeis e com os planos de anisotropia bem definidos, o que acabou por ser comprovado com as roturas a acontecerem exatamente nesses planos de uma forma quase perfeita. Para BA a rotura só afetou dois provetes, demonstrando que são provetes mais resistentes e compactos.

De salientar que tal como foi mencionado para os provetes FC todos os outros provetes também apresentaram uma nova coloração no final do ensaio. Esta nova cor dos provetes tornava-os mais escuros.

Capítulo 4

COMPARAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS

De forma a facilitar a interpretação das relações entre os vários ensaios realizados, estes foram divididos em dois grupos. No primeiro grupo são abrangidos os ensaios de absorção de água à pressão atmosférica, absorção de água por capilaridade, ultrassons e compressão, porque estes ensaios foram realizados com os mesmos provetes. Do segundo grupo fazem parte os ensaios de carga de ponta e resistência à cristalização de sais, os quais foram realizados com provetes diferentes.

Com esta divisão, no primeiro grupo é possível fazer uma interpretação tendo em consideração os valores de cada provete em cada um destes 4 ensaios, para além dos valores médios.

Um aspeto que importa ter em consideração é que existem ensaios como a absorção de água à pressão atmosférica e a resistência à cristalização de sais em que os provetes são ensaiados não tendo em conta a direção. Daí apresentarem apenas um valor que é utilizado tanto para a direção normal como para a paralela quando se relaciona um destes ensaios com um dos outros (em que devem ser consideradas as duas direções).

Na análise que se apresenta de seguida estão representadas tabelas com os valores médios dos ensaios que se pretende relacionar bem como gráficos representativos desses resultados. Para relacionar os valores médios dos dois ensaios matematicamente recorreu-se a modelos de

regressão linear, exponencial, potencial, logarítmica e polinomial. Estes modelos foram todos experimentados e escolheu-se utilizar o que apresentava maior coeficiente de correlação (R^2).

De notar que as correlações com maior interesse prático são as 5 primeiras, porque envolvem a resistência à compressão, no entanto serão apresentadas correlações entre todos os ensaios.

4.1 Relação entre a resistência à compressão e o índice de carga de ponta

Na Tabela 4.1 observam-se os valores médios registados para o ensaio de resistência à compressão e de carga de ponta.

Tabela 4.1 – Valores médios do ensaio de carga de ponta e da resistência à compressão.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Ensaio \ Direção	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Carga de ponta (Is)	5,0	4,8	1,5	1,1	1,9	1,3	2,1	0,5	4,0	1,8
Resistência à compressão (MPa)	144,9	151,9	46,0	45,4	79,1	98,4	53,6	29,7	142,3	88,6

Observando a Tabela 4.1 verifica-se que nas regiões SA, SM e BA os valores médios de resistência à compressão são mais elevados na direção em que os valores médios do índice de carga de ponta também o são e vice-versa. Contudo na região FC e CM tal não se verifica.

Nos gráficos da Figura 4.1 são apresentados os dados representados na Tabela 4.1 referentes ao ensaio de carga de ponta e de resistência à compressão.

Aí é representada a regressão polinomial entre os valores médios da resistência à compressão e do índice de carga de ponta, na direção normal e paralela aos planos de anisotropia. É visível a boa correlação entre os resultados devido aos coeficientes de correlação elevados que se verificam. Na direção normal este coeficiente toma o valor de 0,93 e na direção paralela, o valor de 0,87.

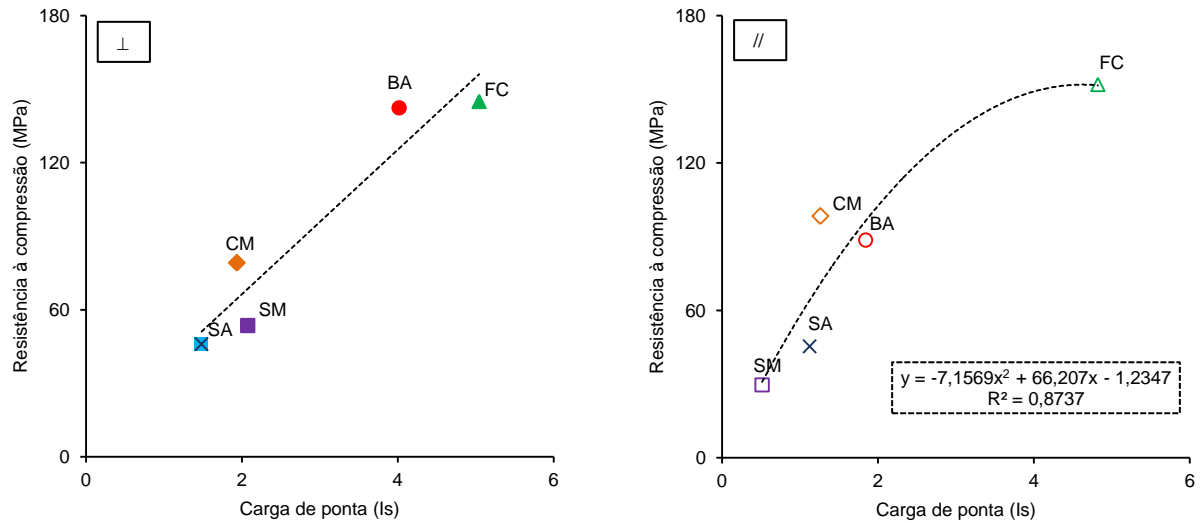


Figura 4.1 - Correlação entre os resultados de carga de ponta e de resistência à compressão na direção normal e paralela, respetivamente.

Esta é uma das mais importantes relações que se podem estabelecer entre dois ensaios daí haver muitos autores que a mencionam. Como é sabido, o ensaio de carga de ponta tem uma execução mais fácil acompanhada também de uma simples preparação das amostras a ensaiar. No ensaio de resistência à compressão tal não se verifica pois este já requer alguns procedimentos que o anterior não tem necessidade, nomeadamente no que se refere à preparação dos provetes. Por isso muitas vezes o ensaio de carga de ponta é utilizado em alternativa ao ensaio de resistência à compressão.

A relação entre resistência à compressão e a carga de ponta é normalmente apresentada através de correlações empíricas lineares que determinam um fator de conversão designado de K (Martins et al., 2001). Este fator relaciona da seguinte forma a resistência à compressão e a carga de ponta:

$$\sigma_c = K \times I_{s(50)}$$

A relação entre estes dois ensaios é estudada desde há muito tempo para vários tipos de rochas, existindo por isso várias teorias para a sua correlação. Diversos autores ao longo dos tempos têm proposto equações e inferido sobre diversos fatores que influenciam o fator de conversão K . Segundo Chau & Wong (1996), o fator de correlação K é muito influenciado pela anisotropia da rocha. Já Broch and Franklin (1972), Bieniawski (1974), Brook (1977) e Greminger (1982) consideram que o fator de conversão é cerca de 24, no entanto com este

fator só é possível prever o valor de resistência à compressão para rochas duras. No caso de se apresentarem rochas brandas estes devem ter um fator menor do que 24 (Agustawijaya,2007). De uma forma mais completa Tziallas et al. (2009) apresentam fatores de conversão para todos os tipos de rochas (rochas sedimentares, arenitos, rochas metamórficas e rochas ígneas). Esses fatores são observados na Tabela 4.2 onde se verifica que por exemplo para as rochas metamórficas o fator de conversão é 18,15. Estes fatores são definidos a partir das equações de regressão linear apresentadas na mesma Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Equação de regressão e coeficientes para ajuste linear e exponencial (Adaptação de Tziallas et al., 2009).

Tipo de rocha	N	Equação	r ²
Todos os tipos de rocha	323	$\sigma_c = 14,49 I_{s(50)}$	0,62
		$\sigma_c = 10,58 I_{s(50)}$	0,66
Sedimentar	257	$\sigma_c = 13,55 I_{s(50)}$	0,48
		$\sigma_c = 10,46 I_{s(50)}$	0,61
Arenito	61	$\sigma_c = 15,70 I_{s(50)}$	0,62
		$\sigma_c = 5,69 I_{s(50)}$	0,79
Metamórfica	25	$\sigma_c = 18,15 I_{s(50)}$	0,78
		$\sigma_c = 12,36 I_{s(50)}$	0,75
Ígnea	34	$\sigma_c = 14,40 I_{s(50)}$	0,88
		$\sigma_c = 6,65 I_{s(50)}$	0,91

Além das equações de regressão linear presentes na tabela ainda é possível observar as equações de regressão exponencial que segundo os autores apresentam resultados mais precisos do que as primeiras, exceto no caso das rochas metamórficas.

Segundo Pinho (2003) não existe uma correlação universal para todas as rochas existentes. Ocorrem erros bastante expressivos caso se utilize uma relação arbitrária para estimar a resistência à compressão a partir da carga de ponta. Também segundo este autor, devido à anisotropia presente nas rochas, os valores do fator de conversão (K) demonstram que a relação entre a resistência à compressão e a carga de ponta apresenta uma elevada dispersão.

De forma a tornar este estudo mais completo apresentam-se os fatores de conversão (K), para a direção normal e paralela, os quais são obtidos a partir da equação da reta que passa na origem. Na direção normal verifica-se K=31,55 enquanto, na direção paralela tem-se K=36,51. Como os valores de K não são muito afastados, determinou-se um K médio, o qual será o resultado do estudo efetuado nesta dissertação. Assim o k médio deste estudo é 34,03.

De salientar ainda que os valores dos coeficientes de correlação são 0,90 e 0,58 na direção normal e paralela, respetivamente.

4.2 Relação entre a resistência à compressão e a absorção de água à pressão atmosférica

Analisar a relação entre a resistência à compressão e a absorção de água à pressão atmosférica é importante pelo significado e leitura que se pode obter da análise da correlação entre os referidos ensaios.

Desta forma apresentam-se na Tabela 4.3 os valores médios obtidos para ambos os ensaios.

Tabela 4.3 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão e de absorção de água à pressão atmosférica.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Argá		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0,57		2,99		1,48		3,55		1,82	
Resistência à compressão (MPa)	144,9	151,9	46,0	45,4	79,1	98,4	53,6	29,7	142,3	88,6

Da observação inicial da Tabela 4.3 constata-se que as regiões que apresentam maiores valores médios de resistência à compressão são as mesmas que apresentam menores valores médios de absorção de água à pressão atmosférica.

No entanto, esta relação entre os valores médios de resistência à compressão e de absorção de água não pode ser vista assim tão linearmente, pois como já se mencionou um dos ensaios tem em consideração as duas direções enquanto, para o outro a direção não é considerada. Desta forma surgem situações como é o caso de CM e BA que apresentam valores médios de absorção de água próximos, no entanto, os valores médios de resistência à compressão são um pouco diferentes, no que se refere principalmente às direções. Enquanto em CM a direção paralela é a que apresenta o maior valor médio de resistência e a normal o menor valor médio, em BA verifica-se o contrário só que nesta última o valor médio de resistência na direção normal (considerando apenas estas duas regiões) é o maior observado. Esta constatação pode supor que então esta região (BA) tem menor valor médio de absorção de água, mas não é o que se verifica. Embora numa direção apresente elevada resistência na outra tal não acontece.

FC apresenta elevados valores médios de resistência à compressão nas duas direções devido aos provetes desta região serem simultaneamente muito compactos e com os planos de anisotropia bem definidos. Sendo os provetes compactos rapidamente se verifica que tem poucos espaços vazios, logo menor absorção de água. Em relação a SA observa-se que os provetes são pouco compactos e com os planos de anisotropia pouco definidos, estas duas componentes associadas explicam o facto de se verificarem valores médios de resistência próximos e elevada percentagem de absorção de água, pois como são pouco compactos propiciam a infiltração da água. Por último, SM apresenta baixos valores médios de resistência à compressão pois os planos nesta região apesar de serem bem definidos e os provetes apesar de aparentarem ser compactos não o são. Devido a isto a água infiltra-se entre os planos sem grande dificuldade apresentando-se por isso nesta região o valor médio mais elevado de absorção de água à pressão atmosférica.

No gráfico da Figura 4.2 é possível observar a correlação entre o ensaio de resistência à compressão e de absorção de água à pressão atmosférica.

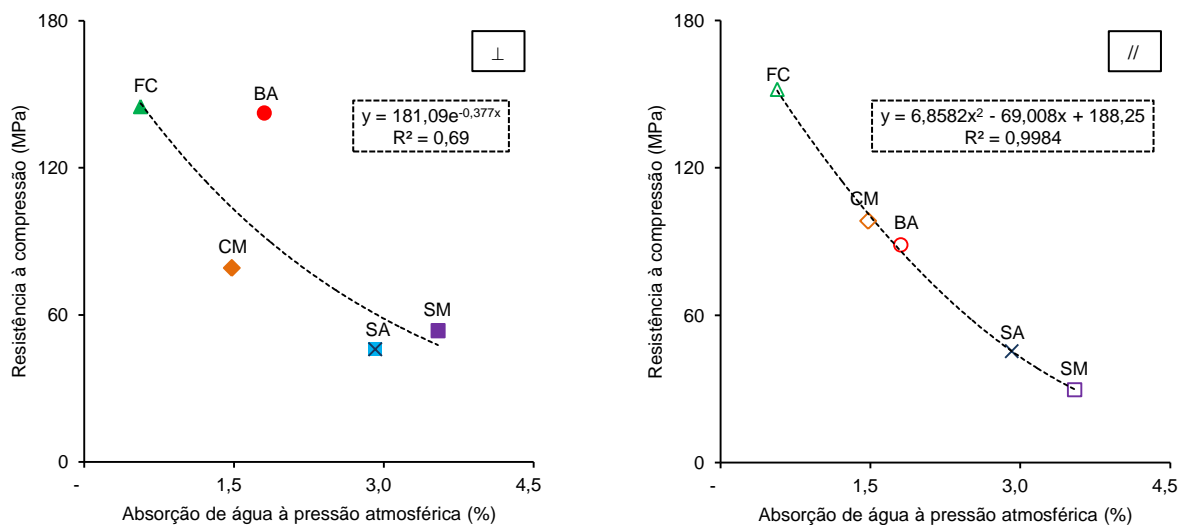


Figura 4.2 – Correlação entre a resistência à compressão e a absorção de água à pressão atmosférica na direção normal e paralela, respetivamente.

Na Figura 4.2 observa-se a regressão exponencial e polinomial entre os valores médios de resistência à compressão e os valores médios de absorção de água à pressão atmosférica, na direção normal e paralela, respetivamente. Também nesta figura é possível observar os

coeficientes de correlação. As correlações em ambas as direções são um pouco diferentes, na normal pode ser considerada razoável, enquanto na paralela não existem dúvidas que é uma correlação muito boa. Sendo assim pode dizer-se que nesta relação a correlação polinomial é a melhor.

A correlação que se verifica na direção paralela vem comprovar que nesta direção os valores médios de resistência à compressão estão de acordo com os valores médios verificados para a absorção de água à pressão atmosférica. Quer-se com isto dizer que quanto menos resistentes forem mais absorção têm.

Na direção normal a correlação não é tão boa, sendo considerada razoável uma vez que existem regiões como é o caso de SA, CM e principalmente BA (pois é que se encontra mais afastada) em que os valores se afastam um pouco em relação aos restantes como se pode observar no gráfico da Figura 4.2.

4.3 Relação entre a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade

Para a análise da relação entre resistência à compressão e o ensaio de absorção de água por capilaridade apresentam-se os valores médios obtidos para cada um dos ensaios na Tabela 4.4. De referir que os valores apresentados para o ensaio de absorção de água por capilaridade se referem aos valores máximos atingidos (para os quais foi obtida massa constante) uma vez que neste ensaio são contabilizados vários pontos ao longo da sua execução.

Tabela 4.4 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão e de absorção de água por capilaridade.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção Ensaio	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Absorção de água por capilaridade (g/m ²)	656,0	614,4	3612,8	3565,6	1580,8	2075,2	3087,2	4501,6	1492	2442,4
Resistência à compressão (MPa)	144,9	151,9	46,0	45,4	79,1	98,4	53,6	29,7	142,3	88,6

Analisando Tabela 4.4 de uma forma generalizada constata-se que as regiões onde se verificam os menores valores médios de resistência à compressão estão associadas aos maiores valores médios de absorção de água por capilaridade e vice-versa. Mas, tal como já

aconteceu no subcapítulo 4.2, há casos excepcionais e novamente se analisa a região CM que na direção em que apresenta maior valor médio de resistência também apresenta maior valor médio de absorção de água por capilaridade. Neste caso seria necessário desenvolver mais estudos específicos para explicar melhor este fenómeno. A região SA apresenta simultaneamente, na mesma direção (normal), o maior valor médio de resistência à compressão e de absorção de água por capilaridade, no entanto, nesta região os valores médios das duas direções são bastante próximos uma vez que os planos de anisotropia se encontram pouco definidos.

Na Figura 4.3 estão representados graficamente os dados relativos aos ensaios em estudo de modo a que se possam correlacionar.

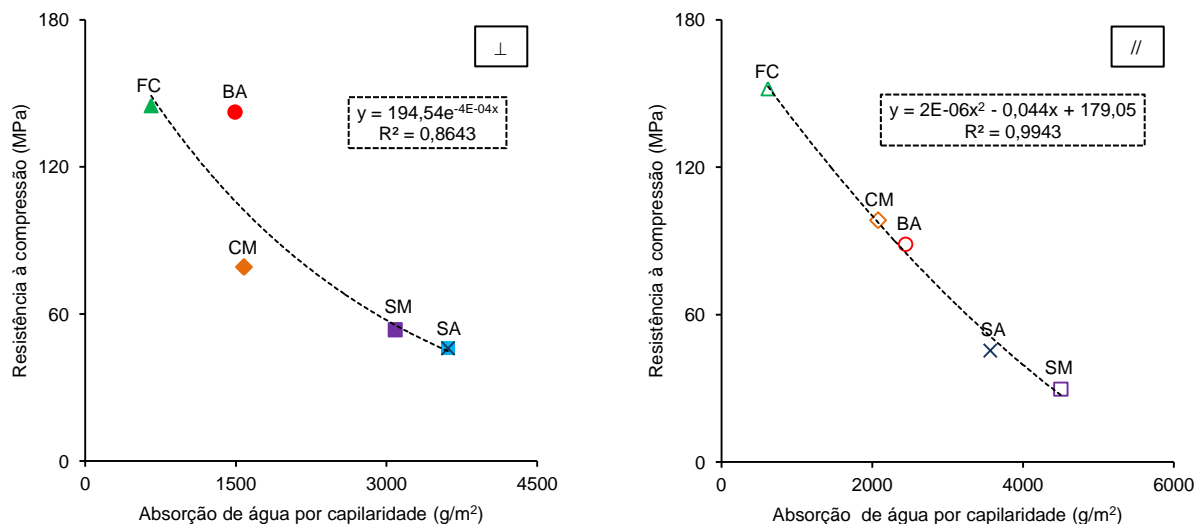


Figura 4.3 - Correlação entre a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela, respetivamente.

Analisando matematicamente gráficos da Figura 4.3 verifica-se que os valores médios de resistência à compressão e os valores médios de absorção de água por capilaridade encontram-se correlacionados através de uma regressão exponencial e polinomial na direção normal e paralela, respetivamente. Da regressão exponencial obteve-se um $R^2=0,86$, enquanto da regressão polinomial se obteve um $R^2=0,99\approx 1$. Desta forma se conclui, que a correlação entre estes dois ensaios é muito boa nomeadamente na direção paralela.

4.4 Relação entre a resistência à compressão e a velocidade de propagação de ultrassons

Para avaliar a correlação entre a resistência à compressão e a velocidade de propagação de ultrassons, apresenta-se na Tabela 4.5 os valores médios obtidos para os referidos ensaios, por direção e por região.

Tabela 4.5 - Valores médios da resistência à compressão e de velocidade de propagação de ultrassons.

Região	Vila Nova de Foz Côa			Serra de Arga			Carracedo de Montenegro		
Direção Ensaio	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}
Ultrassons (m/s)	3692,4	4428,8	5712,4	2280,9	2968,2	3782,7	1456,2	2695,3	4121,4
Resistência à compressão (MPa)	144,9	151,9		46,0	45,4		79,1	98,4	

Região	Sobral de São Miguel			Barqueiros		
Direção Ensaio	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}
Ultrassons (m/s)	626,0	5188,8	5267,5	2384,7	4822,4	5255,4
Resistência à compressão (MPa)	53,6	29,7		142,3	88,6	

Da observação da Tabela 4.5 constata-se que os valores médios da velocidade de propagação de ultrassons são superiores na direção paralela (s_1 e s_2) para qualquer região, enquanto, para a mesma direção, os valores médios de resistência à compressão são os menores, excetuando o caso de FC e CM.

Como se sabe os valores médios da velocidade de propagação dos ultrassons são superiores na direção paralela porque é mais fácil a propagação das ondas ao longo dos planos, no entanto para o ensaio de resistência à compressão tal não se verifica. Neste ensaio os valores médios de resistência são menores devido aos planos que cedem rapidamente quando sobre eles é aplicada a força de compressão. No caso da direção normal os valores médios de ultrassons são menores porque quando as ondas atravessam o provete a velocidade é reduzida devido à existência de espaços vazios entre os planos, enquanto os valores médios de resistência são elevados pois a direção da força de compressão é oposta à de execução do ensaio aumentando por isso o valor de resistência.

Relativamente à região FC nenhuma destas duas situações ocorre. Tanto esta região como CM apresentam os valores médios mais elevados simultaneamente para os dois ensaios, na direção paralela. Em FC, os elevados valores de resistência à compressão justificam-se com o facto de os provetes apresentarem uma foliagem muito compacta que quando confinada entre as plataformas da máquina proporciona o aumento da resistência e a possibilidade da existência de uma terceira direção tornando desta forma os valores nas duas direções muito próximos e elevados. Em CM verifica-se a mesma situação embora os provetes desta região não sejam tão compactos. No que diz respeito aos valores médios de velocidade de propagação de ultrassons como são superiores na direção paralela tem a mesma justificação que já foi apresentada para os restantes.

Contudo, deve ter-se em atenção um aspeto relativamente à direção paralela que não foi mencionado anteriormente. Este refere-se ao facto desta direção ter duas componentes as quais vão proporcionar diferentes correlações uma vez que na direção paralela s_1 os valores médios de velocidade de ultrassons são sempre menores do que os da paralela s_2 . Esta diferença de valores está relacionada com a definição dos planos de anisotropia e regularidade destes, ou seja, a região que apresente nesta direção valores muito próximos, significa que os planos encontram-se bem definidos e regulares, as que apresentam valores diferentes nas duas direções tem planos de anisotropia mais irregulares e em algumas situações existem mais planos.

Em termos matemáticos também se apresenta a análise da relação entre os dois ensaios em estudo. Na Figura 4.4 é possível observar a regressão polinomial efetuada para a direção normal e a linear para a direção paralela (s_1 e s_2). Observa-se que das três regressões estudadas a que se pode considerar melhor é a polinomial uma vez que apresenta um $R^2=0,52$. No entanto, a correlação que aqui se verifica não é boa mas pode ser tida como razoável. No que se refere à correlação observada para a direção paralela s_1 e s_2 é que esta é muito má, pois têm coeficientes de correlação muito baixos ($R^2=0$ e $R^2=0,18$, respetivamente), ou seja, os dois parâmetros em análise não apresentam correlação entre si.

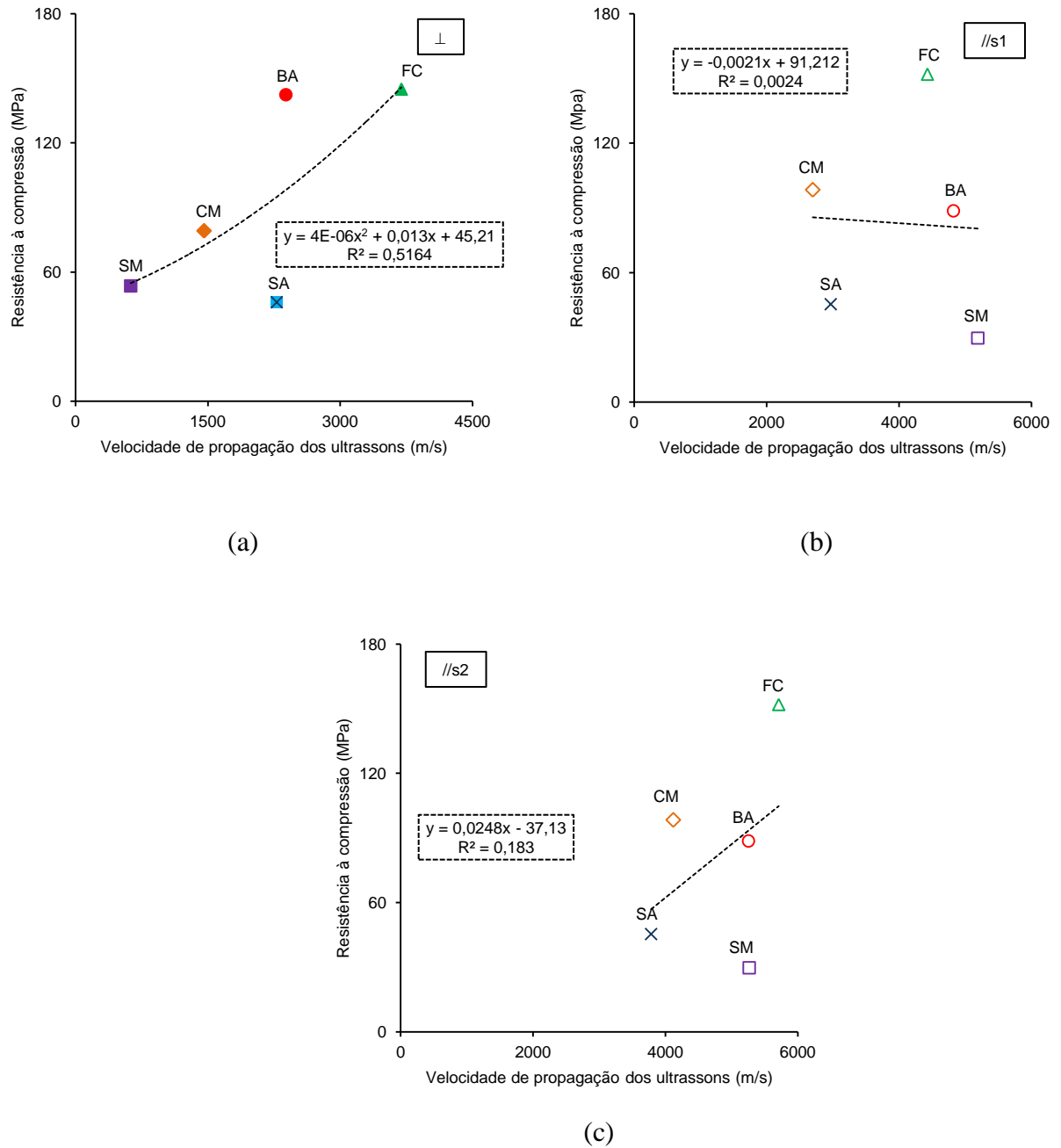


Figura 4.4 – Correlação entre os resultados de ultrassons e de resistência à compressão na direção: (a) normal, (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2 .

Através da Figura 4.4, verifica-se que apenas na direção normal existe uma correlação razoável entre os valores médios de ambos os ensaios uma vez que regiões como BA e SA se encontram afastada do modelo de regressão.

4.5 Relação entre a resistência à compressão e a resistência à cristalização de sais

Na Tabela 4.6 estão presentes os valores médios obtidos no ensaio de resistência à compressão e de cristalização de sais.

Tabela 4.6 - Valores médios do ensaio de cristalização de sais e da resistência à compressão.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carracedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção Ensaio	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Resistência à cristalização de sais (%)	0,15		-0,36		-1,09		0,42		0,38	
Resistência à compressão (MPa)	144,9	151,9	46,0	45,4	79,1	98,4	53,6	29,7	142,3	88,6

Nesta tabela verifica-se que os provetes FC são os que apresentam os maiores valores médios de resistência à compressão, nas duas direções, bem como uma menor percentagem média de massa ganha. Observa-se que relativamente aos restantes valores médios de resistência à compressão apresentados para ambos os ensaios não é possível encontrar uma relação que se possa aplicar a todos ou quase todos os valores médios de todas as regiões, nas duas direções, como se verifica nas relações estudadas anteriormente.

Assim através da representação dos valores médios nos gráficos da Figura 4.5 comprova-se o que já foi referido.

A regressão polinomial feita para relacionar estes dois ensaios, na direção normal e paralela, vem comprovar que não há relação entre os resultados dos dois parâmetros. Observa-se um coeficiente de correlação muito próximo de zero ($R^2=0,13$), na direção normal, e outro que é zero ($R^2=0,01$), na direção paralela.

Assim sendo, após a uma análise matemática destes valores médios será apresentada uma análise qualitativa mais detalhada do que a efetuada para as restantes relações entre ensaios, uma vez que neste caso não há qualquer relação entre os valores médios, de todas as regiões como já foi mencionado.

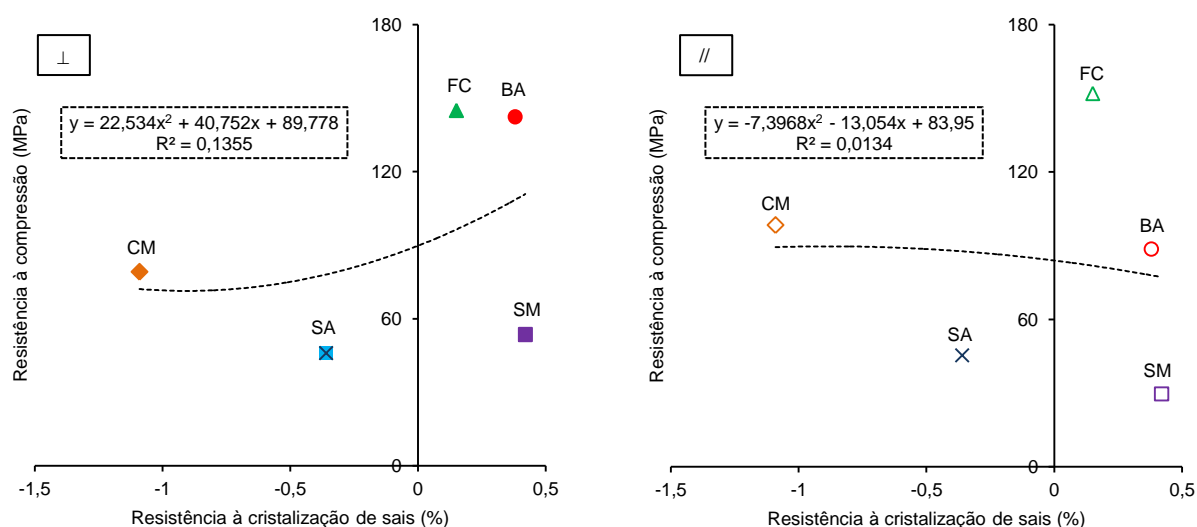


Figura 4.5 – Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de resistência à compressão na direção normal e paralela, respetivamente.

Concluindo, quantitativamente o ensaio de resistência à compressão e resistência à cristalização de sais não tem qualquer relação matemática. Na direção normal, os valores de SA e SM aproximavam-se caso se aumentasse a resistência à compressão, enquanto para os de FC e BA a resistência deveria ter valores menores. A execução de mais ensaios também poderia ser uma boa solução para se tentar despistar a eventual existência de erros associados ao ensaio de resistência à cristalização de sais.

Uma vez que no ensaio de resistência à cristalização de sais existe uma região para a qual os resultados foram contrários aos esperados (SM) gerando alguma surpresa aquando da sua análise (entraram rotura e no entanto ganharam massa), resolveu-se eliminar essa região e analisar apenas as outras quatro regiões.

Na Figura 4.6 observa-se a correlação existente entre os valores médios de resistência à compressão com os de resistência à cristalização de sais, sem a consideração da região SM.

Ao contrário do observado na Figura 4.5, nomeadamente na direção normal, verifica-se que através regressão polinomial se obteve um coeficiente de correlação bastante bom ($R^2=0,81$), enquanto na direção paralela este não melhorou muito ($R^2=0,19$). Estas observações vêm comprovar que os resultados da região SM influenciam negativamente a correlação dos resultados médios, embora muito mais numa direção do que noutra.

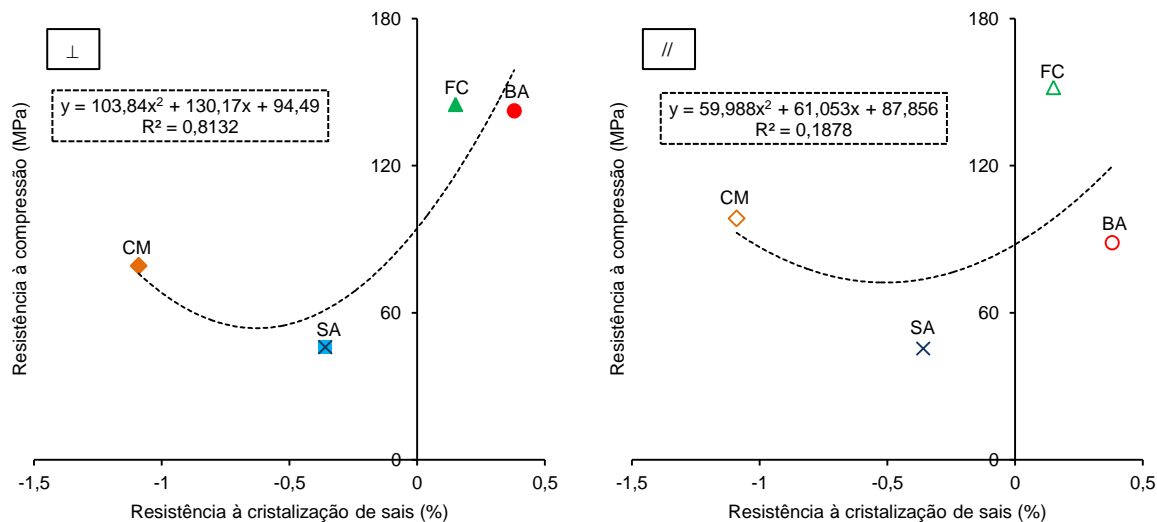


Figura 4.6 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de resistência à compressão nas duas direções sem consideração de Sobral de São Miguel.

Análise qualitativa

Os provetes FC apresentam uma elevada resistência à compressão nas duas direções, que chegam a ser muito próximas, uma vez que apresentam associadas uma foliagem muito compacta e uma boa definição dos planos de anisotropia levando por isso a que haja uma reduzida quantidade de espaços vazios entre estes. Assim sendo, quando os provetes são mergulhados na solução de sulfato de sódio torna-se mais difícil a absorção de sais devido à dificuldade que a solução tem em se infiltrar. A pequena percentagem de ganho de massa que se observa para estes provetes são os poucos sais que se conseguiram infiltrar e que mesmo com a lavagem com água potável não foi possível retirar. Os provetes SA, por outro lado, apresentam menores valores médios de resistência à compressão devido ao aspeto pouco compacto que apresentam e à pouca definição dos planos de anisotropia. Assim, é expectável que ao entrarem em contacto com a solução de sulfato de sódio sejam facilmente afetados, começando os sais por destruir os provetes. Em relação aos provetes CM, estes apesar de mais resistentes do que os SA, tiveram uma perda de massa média bem maior. Tal situação pode ser eventualmente explicada com o facto dos minerais constituintes serem mais sensíveis à ação dos sais.

O caso dos provetes SM é uma exceção ao que normalmente acontece. Estes provetes apresentam valores médios de resistência à compressão superiores na direção normal e bem mais baixos na direção paralela pois tem associado aos provetes pouco compactos uma

excelente definição dos planos de anisotropia. Esta boa definição dos planos é a principal condicionante para que todos os provetes ensaiados tenham entrado em rotura e mesmo assim tenham ganho massa, daí ser uma exceção ao que normalmente acontece (a explicação desse ganho de massa é apresentada no Capítulo 3). Por fim, os provetes BA onde se verificam valores médios de resistência elevados (mas não tanto como em FC) com ganho de massa superior a FC uma vez que é menos resistente do que este.

De forma a simplificar esta explicação sobre a relação entre estes dois ensaios em questão resolveu fazer-se uma compilação dos principais fatores condicionantes para a correlação destes (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 – Fatores condicionantes na correlação do ensaio de resistência à compressão com o de resistência à cristalização de sais.

Região Fator	Vila Nova de Foz Côa	Serra de Arga	Carrazedo de Montenegro	Sobral de São Miguel	Barqueiros
Planos de anisotropia	Bem definidos	Mal definidos	Bem definidos	Bem definidos	Bem definidos
Foliagem dos planos	Foliagem muito compacta	Foliagem pouco compacta	Foliagem compacta	Foliagem pouco compacta	Foliagem compacta
Perda de massa	Não	Sim	Sim	Não	Não
Ganho de massa	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Capacidade resistente dos provetes	Elevada	Moderada	Elevada	Moderada	Elevada

Observando os diversos fatores condicionantes na correlação do ensaio de compressão e cristalização de sais, verifica-se que as duas regiões que apresentam características muito semelhantes são FC e BA. As restantes regiões (SA, CM e SM) não apresentam características que as tornem semelhantes entre elas e entre as restantes regiões.

4.6 Relação entre a carga de ponta e a absorção de água à pressão atmosférica

A avaliação da relação entre os valores médios de carga de ponta e de absorção de água à pressão atmosférica requer a utilização de uma metodologia semelhante à aplicada entre este último e a resistência à compressão. Na Tabela 4.8 é possível observar os valores médios dos dois ensaios em comparação.

Tabela 4.8 - Valores médios do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica e da carga de ponta.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0,57		2,99		1,48		3,55		1,82	
Carga de ponta (Is)	5,0	4,8	1,5	1,1	1,9	1,3	2,1	0,5	4,0	1,8

Observando a Tabela 4.8 verifica-se que nem sempre se tem os maiores valores médios de carga de ponta quando se tem os menores valores médios de absorção de água, como uma primeira análise poderia sugerir. Na direção paralela para todas as regiões, com exceção de CM e BA, observa-se que quando se tem maiores valores médios de carga de ponta se tem associados menores valores médios de absorção de água à pressão atmosférica e vice-versa. CM e BA apresentam valores médios de absorção de água e carga de ponta que não coincidem com os pressupostos verificados para as restantes regiões. Ou seja, como BA tem maiores valores médios de resistência tanto numa direção como noutra seria expectável que tivesse menor valor médio absorção de água, enquanto CM que apresenta valores de resistência menores do que BA seria expectável que tivesse um valor médio maior de absorção. Em SM tendo apenas em consideração o valor médio de carga de ponta na direção paralela poder-se-ia dizer que o valor médio de absorção era o mais indicado dentro dos valores apresentados. No entanto, para a direção normal já não se pode dizer o mesmo, pois o valor médio de carga de ponta, de acordo com os restantes, sugere que deveria ter um valor médio de absorção muito inferior. De salientar que os provetes desta região têm a particularidade de apresentarem os planos melhor definidos de entre os provetes das restantes regiões, na direção paralela, o que por si só é já uma justificação para a ocorrência de valores médios de carga de ponta tão diferentes nas direções.

Na Figura 4.7 apresenta-se graficamente os valores médios dos dois ensaios para que se possam analisar matematicamente. A regressão polinomial utilizada permite constatar que se obtém uma melhor correlação na direção paralela do que na direção normal, pois a primeira apresenta um coeficiente de correlação, $R^2=0,89$, enquanto a segunda apresenta um $R^2=0,64$. Assim sendo, pode afirmar-se que se tem uma boa correlação na direção paralela.

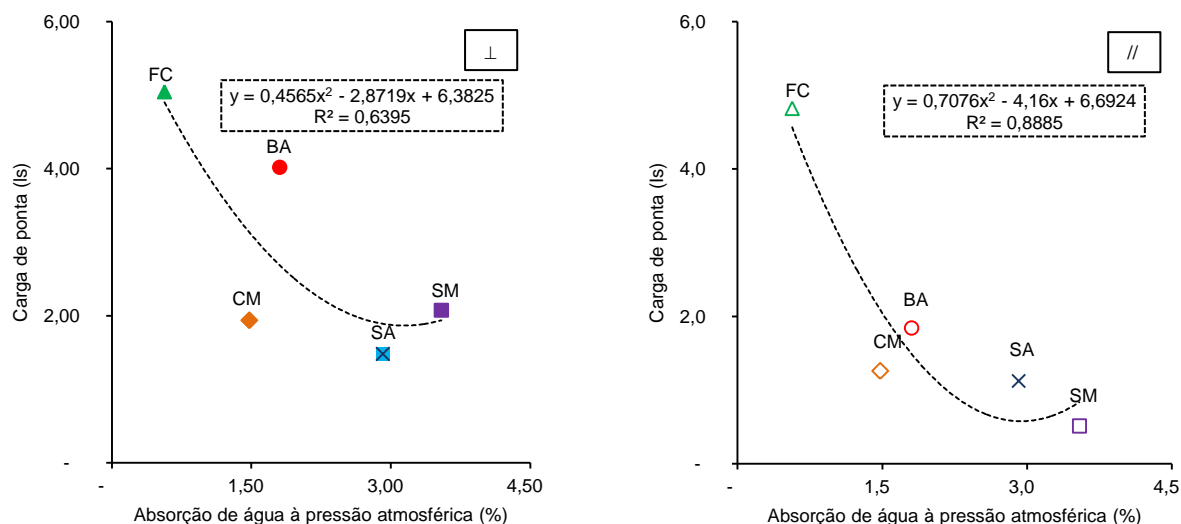


Figura 4.7 - Correlação entre os resultados de absorção de água à pressão atmosférica e de carga de ponta na direção normal e paralela, respetivamente.

Concluindo, o facto de a direção paralela apresentar uma correlação boa está relacionado com o facto de nesta direção os valores médios de carga de ponta serem menores do que os observados para a direção normal e por estes estarem em conformidade com os valores médios de absorção à pressão atmosférica. Com esta ilação confirma-se o que anteriormente se mencionou acerca dos valores médios de carga de ponta irem diminuindo enquanto os de absorção iam aumentando. Na direção normal esta relação não é tão linear, pois os valores médios de ambos os ensaios em alguns dos casos não têm relação entre eles.

4.7 Relação entre a carga de ponta e a absorção de água por capilaridade

Na Tabela 4.9 encontram-se os valores médios observados nos ensaios em análise.

Tabela 4.9 - Valores médios do ensaio de absorção de água por capilaridade e de carga de ponta.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção Ensaio	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Absorção de água por capilaridade (g/m ²)	656,0	614,4	3612,8	3565,6	1580,8	2075,2	3087,2	4501,6	1492	2442,4
Carga de ponta (Is)	5,0	4,8	1,5	1,1	1,9	1,3	2,1	0,5	4,0	1,8

Analisando a Tabela 4.9 verificam-se duas situações: para as regiões FC e SA os valores médios mais elevados de carga de ponta (direção normal) estão associados aos valores médios de absorção de água por capilaridade também mais elevados. Para as regiões de CM, SM e BA os menores valores médios de carga de ponta (direção paralela) também se encontram associados aos valores médios de absorção por capilaridade mais elevados. Outro aspeto que se salienta é o facto de os valores médios de FC serem muito próximos em ambas as direções e para os dois ensaios. Situação idêntica se verifica com SA mas com uma proximidade ligeiramente menor relativamente à que se verifica em FC. Tal situação não é visível nas restantes regiões, as quais se apresentam bem demarcadas nas duas direções, para os ensaios em questão.

Pressupõe-se que o índice de carga de ponta é menor onde a absorção por capilaridade é maior como acontece nas regiões de CM, SM e BA, pois como se sabe os menores valores do índice de carga de ponta devem-se ao fácil destacamento ou quebra dos planos (tratando-se da direção paralela ou normal, respetivamente), os quais são influenciados por determinados fatores como é o caso dos espaços vazios. Com tudo isto pode justifica-se que a situação verificada em FC se deve à foliagem muito compacta e boa definição dos planos de anisotropia dos provetes, daí que os valores médios se apresentem muito próximos nas duas direções, para os dois ensaios. Em SA tal verifica-se porque os provetes são pouco compactos e os planos de anisotropia encontram-se mal definidos, situação que também propicia a que os valores sejam muito próximos.

Na Figura 4.8 apresentam-se os gráficos que permitem relacionar os ensaios de carga de ponta e absorção de água por capilaridade, na direção normal e na paralela.

Nos gráficos apresentados verifica-se que através da regressão polinomial efetuada para as duas direções se obtêm boas correlações, nomeadamente para a direção paralela, a qual apresenta um $R^2=0,93$. Significa isto que a direção paralela é que correlaciona melhor os valores médios dos ensaios em estudo.

Na direção paralela a correlação é muito boa pois os valores médios dos dois ensaios encontram-se em conformidade, exceto no caso de CM e BA. Nestas duas regiões os valores médios de carga de ponta e absorção de água por capilaridade não seguem a mesma ordem utilizada para as restantes regiões, ou seja, maior valor médio de carga de ponta logo menor valor médio de absorção de água.

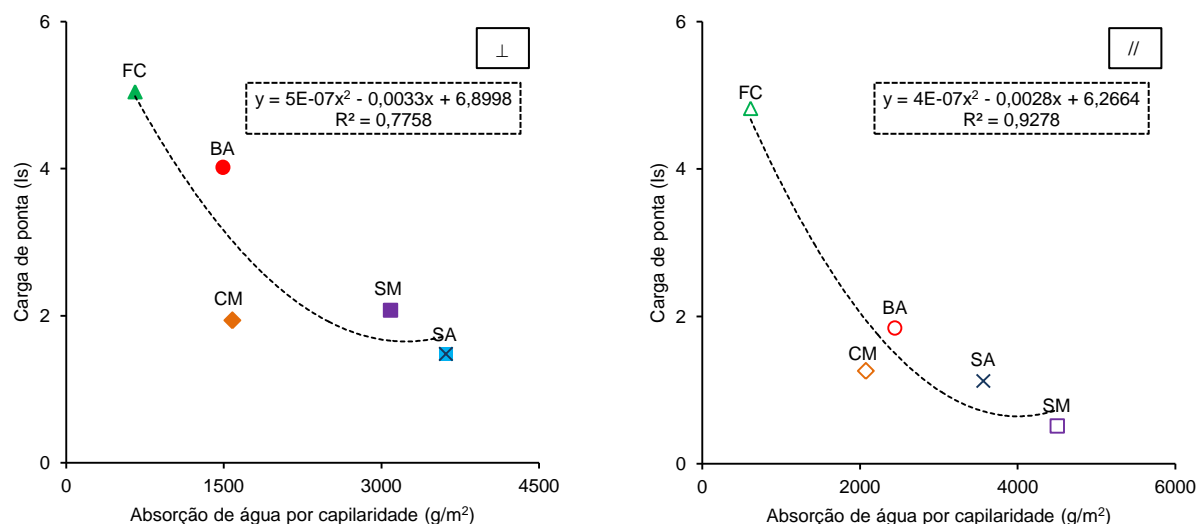


Figura 4.8 - Correlação entre os resultados de absorção de água por capilaridade e de carga de ponta na direção normal e paralela, respetivamente.

4.8 Relação entre a carga de ponta e a velocidade de propagação de ultrassons

Na Tabela 4.10 são apresentados os valores médios obtidos para o ensaio de carga de ponta e de velocidade de propagação de ultrassons e que serão posteriormente correlacionados.

Tabela 4.10 – Valores médios de velocidade de propagação de ultrassons e de carga de ponta.

Região	Vila Nova de Foz Côa			Serra de Arga			Carrazedo de Montenegro		
Direção Ensaio	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}
Ultrassons (m/s)	3692,4	4428,8	5712,4	2280,9	2968,2	3782,7	1456,2	2695,3	4121,4
Carga de ponta (Is)	5,0	4,8	4,8	1,5	1,1	1,1	1,9	1,3	1,3

Região	Sobral de São Miguel			Barqueiros		
Direção Ensaio	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}
Ultrassons (m/s)	626,0	5188,8	5267,5	2384,7	4822,4	5255,4
Carga de ponta (Is)	2,1	0,5	0,5	4,0	1,8	1,8

Numa primeira observação verifica-se que para os valores médios mais elevados de carga de ponta estão associados os valores médios mais baixos de velocidade de propagação de ultrassons e vice-versa sendo que a primeira situação referida se verifica na direção normal e a segunda na direção paralela.

A relação verificada entre os valores médios em ambos os ensaios, na direção normal, deve-se ao facto de que nesta direção a carga de ponta apresenta valores superiores porque é nesta que os planos se quebram e como já se referiu é necessária muito mais força, enquanto a velocidade ultrassons é menor porque as ondas ao atravessar o provete perpendicularmente aos planos de anisotropia encontram espaços vazios (entre os planos) que reduzem a velocidade. Na direção paralela a carga de ponta apresenta valores médios menores porque nesta direção os planos de anisotropia são destacados não exigindo tanta força como para se quebrar, enquanto a velocidade ultrassons apresenta valores médios elevados uma vez que se torna mais fácil a propagação das ondas ao longo dos planos. Concluindo, os planos de anisotropia são a característica que permite relacionar os dois ensaios.

Contrariando esta análise qualitativa apresentam-se os gráficos da Figura 4.9 onde se constata que os valores médios do ensaio de carga de ponta e de velocidade de propagação de ultrassons, na direção paralela não têm qualquer correlação matemática.

De forma a haver uma melhor interpretação dos resultados resolveu-se correlaciona-los através da análise dos gráficos da Figura 4.9. Aqui, apresenta-se uma regressão polinomial para a direção normal e linear para a direção paralela s_1 e s_2 . Na direção normal verifica-se uma correlação razoável entre os valores médios dos dois ensaios em análise pois verifica-se um $R^2=0,69$. Em contrapartida, na direção paralela s_1 não existe correlação pois os resultados encontram-se muito dispersos, o que é visível através do $R^2=0,02$. Na direção paralela s_2 a correlação, apesar de não ser boa já representa alguma relação entre os ensaios, pois tem um $R^2=0,33$.

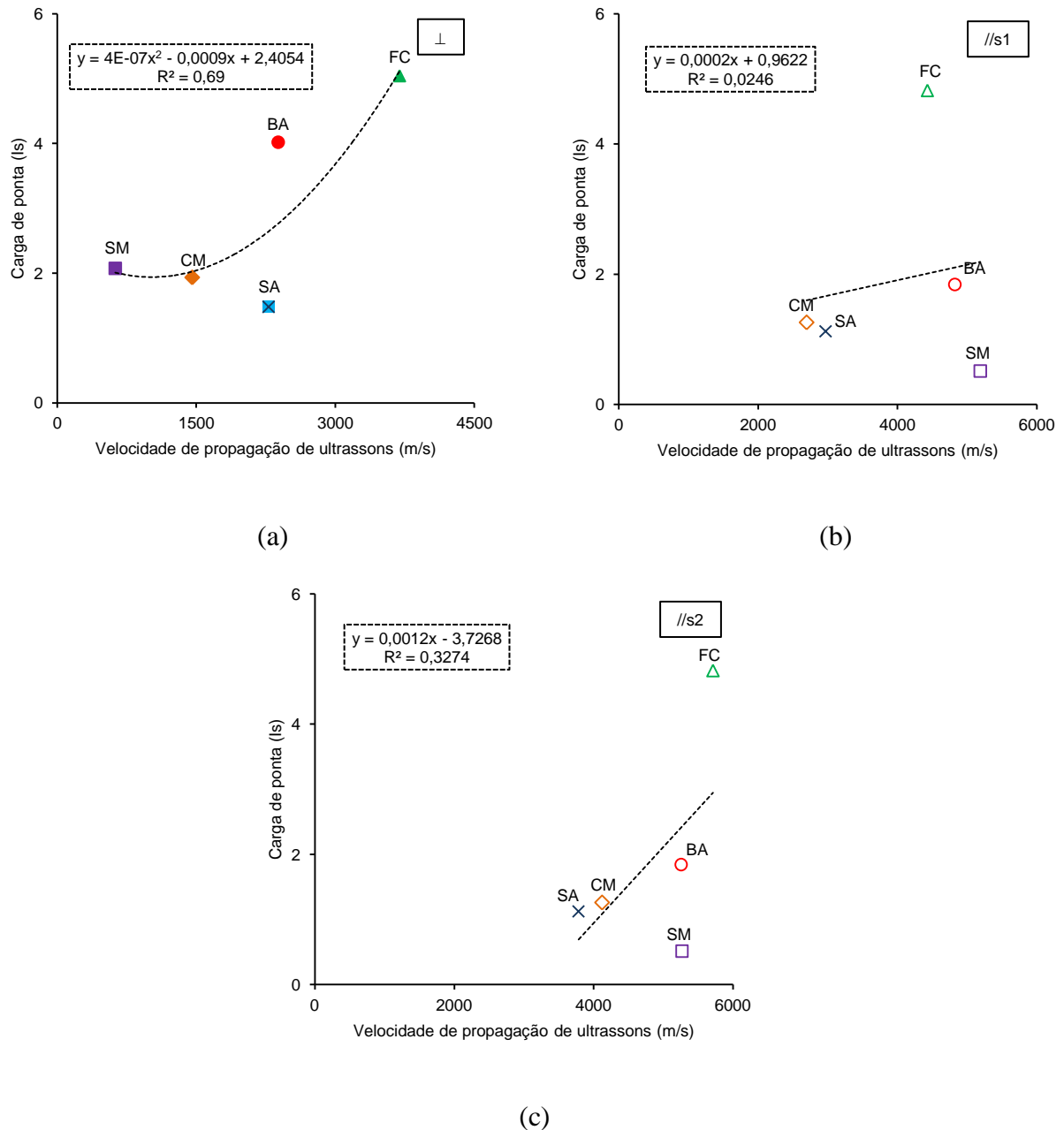


Figura 4.9 – Correlação entre os resultados de velocidade de propagação de ultrassons e de carga de ponta na direção: (a) normal. (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2 .

Embora na direção normal os valores médios de um ensaio estejam associados aos do outro ensaio tendo em conta a mesma lógica, nem sempre a correlação é boa. Nesta situação verifica-se uma correlação razoável porque há regiões que devido aos seus valores médios (em ambos os ensaios) se encontram mais afastadas. Nesta correlação os valores médios do ensaio de velocidade de propagação de ultrassons são enormes comparados com os que se observam para a carga de ponta, desta forma uma diferença pequena entre os valores médios

de carga de ponta dispersa muito os resultados. Nas regiões de SA e BA verifica-se a situação mencionada.

4.9 Relação entre a carga de ponta e a resistência à cristalização de sais

Na Tabela 4.11 constata-se a presença dos valores médios do ensaio de carga de ponta e de resistência à cristalização de sais para posteriormente se efetuar uma análise.

Tabela 4.11 - Valores médios do ensaio de resistência à cristalização de sais e de carga de ponta.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção Ensaio	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Resistência à cristalização de sais (%)	0,15		-0,36		-1,09		0,42		0,38	
Carga de ponta (Is)	5,0	4,8	1,5	1,1	1,9	1,3	2,1	0,5	4,0	1,8

Tal como se verifica na análise efetuada para a relação entre a resistência à compressão e a resistência à cristalização de sais, não se evidência uma relação que possa ser aplicada a todos os valores médios de todas as regiões. Observa-se que FC, SM e BA têm os maiores valores médios do índice de carga de ponta associados ao ganho de massa e que SA e CM apresentam os menores valores médios de índice de carga de ponta associadas perdas de massa.

Desta forma, a explicação apresentada no subcapítulo 4.5 para a relação entre o ensaio de resistência à compressão e a resistência à cristalização de sais pode ser adaptada nesta correlação, uma vez que nas regiões onde verificam elevados valores médios de carga de ponta também se verificam elevados valores médios de resistência à compressão.

Nos gráficos da Figura 4.10 apresenta-se a relação entre os valores médios do índice de carga de ponta com os da resistência à compressão para a qual se recorreu à regressão exponencial na direção normal e à regressão polinomial na direção paralela. Verifica-se que nas duas situações a correlação é má pois apresentam coeficientes de correlação bastantes baixos. Na direção normal este apresenta o valor de 0,28 e na direção paralela é de 0,14. Nesta situação constata-se que a melhor regressão é a exponencial uma vez que apresenta melhor coeficiente.

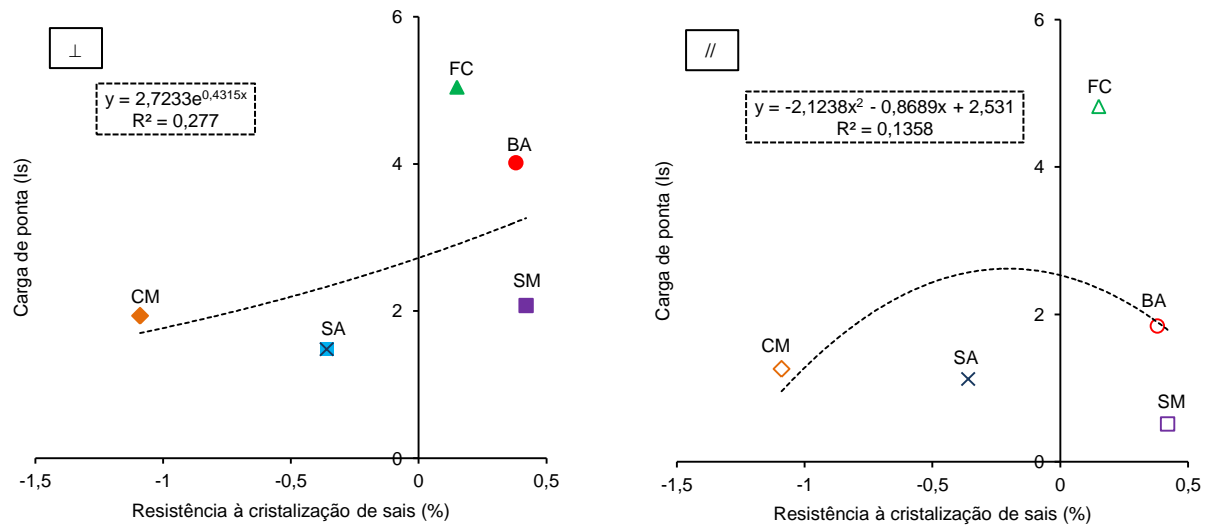


Figura 4.10 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de carga de ponta na direção normal e paralela, respetivamente.

Na Figura 4.11 representa-se graficamente a correlação entre os valores médios do índice de carga de ponta e de resistência à cristalização de sais, sem considerar a região SM. Novamente se elimina a região SM dos resultados analisados para perceber que influência tem a ausência desta região na correlação.

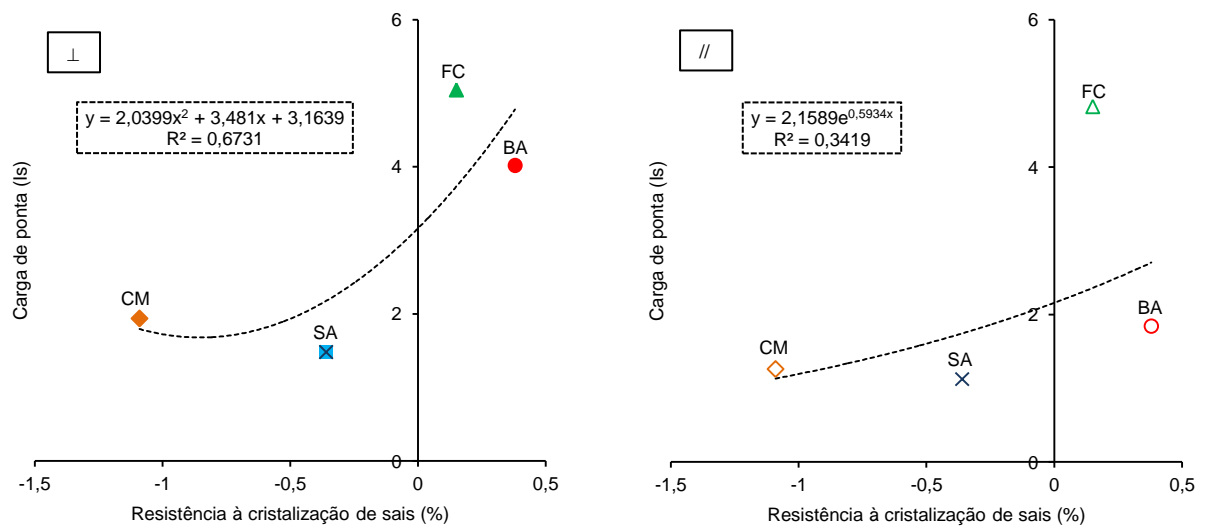


Figura 4.11 – Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de carga de ponta nas duas direções, sem consideração de Sobral de São Miguel.

Observando a correlação entre os valores médios dos dois ensaios, apenas para as 4 regiões verifica-se que esta melhorou bastante na direção normal pois apresenta um $R^2=0,67$ passando a ser uma correlação razoável. Na direção paralela, embora o coeficiente de correlação ($R^2=0,34$) tenha aumentado, esta continua a ser má. Nesta situação, ao contrário do que se verifica nos gráficos da Figura 4.10, a regressão apresentada para a direção normal é a polinomial enquanto na direção paralela é a exponencial.

Concluindo, o facto de se retirar SM da análise dos resultados permitiu, pelo menos na direção normal que a correlação melhorasse pois conseguiu-se estabelecer uma regressão que melhor aproximasse estas regiões. Neste caso só vem provar que os valores médios de SM poderão estar um pouco descontextualizados. Na direção paralela, apesar de uma pequena melhoria na correlação, esta não é muito significativa pois existem regiões como FC, em que é notória a grande influência na má correlação.

4.10 Relação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a absorção de água à pressão atmosférica

Na Figura 4.12 observam-se os valores médios para os respetivos ensaios.

Tabela 4.12 - Valores médios do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica e a velocidade de propagação de ultrassons.

Região	Vila Nova de Foz Côa			Serra de Arga			Carrazedo de Montenegro		
Direção Ensaio	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0,57			2,91			1,48		
Ultrassons (m/s)	3692,4	4428,8	5712,4	2280,9	2968,2	3782,7	1456,2	2695,3	4121,4

Região	Sobral de São Miguel			Barqueiros		
Direção Ensaio	⊥	// _{s1}	// _{s2}	⊥	// _{s1}	// _{s2}
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	3,55			1,82		
Ultrassons (m/s)	626,0	5188,8	5267,5	2384,7	4822,4	5255,4

Da observação da tabela constata-se o seguinte entre os ensaios na direção normal: em termos de velocidade média $FC > BA > SA > CM > SM$, enquanto em termos de absorção média é $FC < CM < BA < SA < SM$. Assim se verifica que apenas para FC e SM existe uma relação entre os ensaios, ou seja, quando se verifica o maior valor médio de velocidade de propagação de ultrassons observa-se que o valor médio de absorção de água à pressão atmosférica é o menor e o contrário se passa para SM. Esta constatação pode ser explicada da seguinte forma: quando há pouca percentagem de absorção de água pressupõe-se que é devido à pouca quantidade de espaços vazios existentes nos provetes. Como os espaços vazios são um dos fatores que interferem na velocidade de propagação de ultrassons é natural que havendo pouca quantidade a propagação de ultrassons é facilitada, sendo assim propício o aumento da velocidade. O mesmo se passa quando se observa uma elevada percentagem média de absorção de água, através da qual se sabe que existe uma grande quantidade de espaços vazios, logo uma velocidade média menor.

Relativamente à direção paralela s_1 verifica-se que $SM > BA > FC > SA > CM$ no que diz respeito à velocidade média de propagação dos ultrassons e $FC < CM < BA < SA < SM$ para a absorção média de água à pressão atmosférica, ou seja, nesta direção nada se relaciona linearmente. Na direção paralela s_2 para a velocidade média tem-se: $FC > SM > BA > CM > SA$ e para a absorção média tem-se: $FC < CM < BA < SA < SM$, não havendo novamente uma relação entre os valores médios de ambos os ensaios, a não ser o caso de FC que apresenta o maior valor médio de velocidade de propagação de ultrassons associado ao menor valor médio de absorção de água.

O facto de se analisarem duas direções na direção paralela é importante na medida em que estas podem fornecer dados sobre a regularidade dos planos de anisotropia e sobre a influência dos espaços vazios na interpretação dos ultrassons. Assim sendo, quanto mais os valores médios da direção paralela s_1 e s_2 se afastarem mais irregulares são os planos de anisotropia. Como se sabe a onda ultrassónica, nesta direção, percorre os planos onde a existência espaços vazios não é muito comum daí o seu valor ser elevado. Contudo, na separação dos planos, os espaços vazios existem, especialmente no caso SM, pois são relativamente grandes apresentando por isso grande absorção de água. No que se refere às restantes regiões verifica-se que os valores médios se encontram mais elevados numas regiões do que em outras. A região SA é o caso em que os valores médios de velocidade de propagação de ultrassons na direção paralela s_1 e s_2 são menores, no entanto o valor médio de absorção é o mais elevado, de entre as regiões em análise (FC, SA, CM e BA). Estes valores

médios de velocidade mais baixos mas diferentes regiões acontecem devido às irregularidades dos planos que são características destes provetes que associadas à pouca compactação levam a que haja uma grande quantidade de absorção de água. As regiões de FC, CM e BA são as que possuem os valores médios mais elevados de velocidade, no entanto a absorção média já é menor. Os gráficos da Figura 4.12 representam a correlação existente entre os dois ensaios.

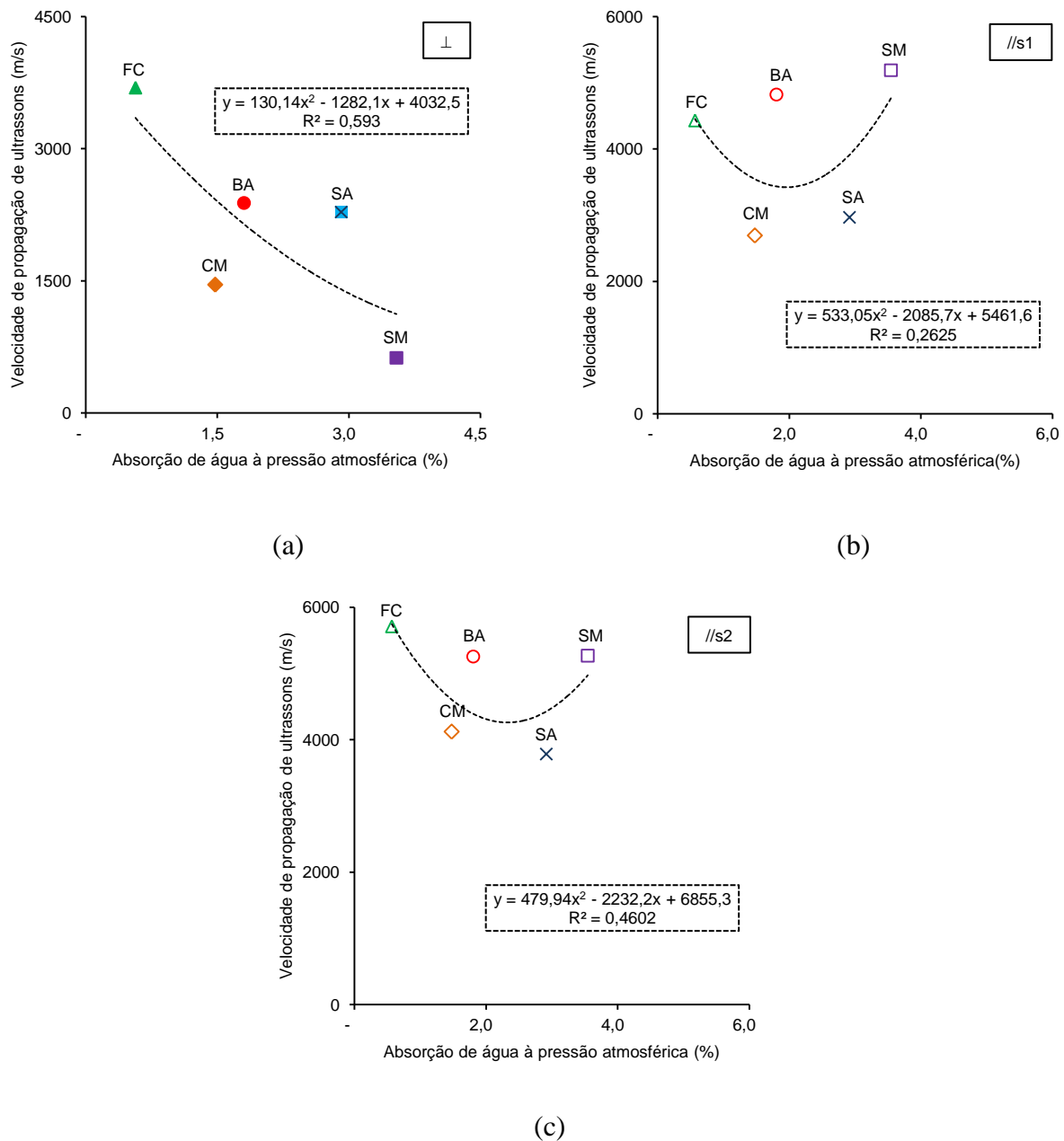


Figura 4.12 - Correlação entre os resultados de absorção de água à pressão atmosférica e da velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal, (b) paralela s₁ e (c) paralela s₂.

Para analisar matematicamente a correlação entre os ensaios recorreu-se à regressão polinomial para os três gráficos apresentados. Verifica-se que na direção normal a correlação

é razoável pois apresenta um $R^2=0,59$, enquanto nas direções paralela s_1 e s_2 é relativamente má pois apresenta um $R^2=0,26$ e $R^2=0,46$, respetivamente.

A correlação razoável que se verifica na direção normal acontece devido às regiões FC e SM pois são as únicas em que existe alguma relação entre os ensaios. Em SA, CM e BA não se verifica esta relação daí os valores se afastarem da curva de regressão que melhor aproxima os resultados. Na direção paralela s_1 e s_2 a correlação é má porque os ensaios não se conseguem relacionar. Adicionalmente, a correlação matemática encontrada (curva do 2º grau, ver Figura 4.12) não parece ser fisicamente consistente com o que acontece na direção normal, pois a partir de certa altura a velocidade de propagação aumenta com o aumento da absorção de água.

4.11 Relação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a absorção de água por capilaridade

A relação estabelecida entre o ensaio de velocidade de propagação de ultrassons e da absorção de água por capilaridade permitirá estabelecer uma relação mais aprofundada do que a analisada anteriormente pois a absorção neste caso já apresenta definidas as duas direções.

Tabela 4.13 - Valores médios do ensaio de absorção de água por capilaridade e de velocidade de propagação de ultrassons.

Região	Vila Nova de Foz Côa			Serra de Arga			Carrazedo de Montenegro		
Direção Ensaio	\perp	// s_1	// s_2	\perp	// s_1	// s_2	\perp	// s_1	// s_2
Absorção de água por capilaridade (g/m²)	656,0	614,4	614,4	3612,8	3565,6	3565,6	1580,8	2075,2	2075,2
Ultrassons (m/s)	3692,4	4428,8	5712,4	2280,9	2968,2	3782,7	1456,2	2695,3	4121,4

Região	Sobral de São Miguel			Barqueiros		
Direção Ensaio	\perp	// s_1	// s_2	\perp	// s_1	// s_2
Absorção de água por capilaridade (g/m²)	3087,2	4501,6	4501,6	1492	2442,4	2442,4
Ultrassons (m/s)	626,0	5188,8	5267,5	2384,7	4822,4	5255,4

Da observação dos valores médios obtidos para a direção normal, no ensaio de velocidade de propagação de ultrassons, constata-se que $FC > BA > SA > CM > SM$ e para a absorção de água por capilaridade $FC < BA < CM < SM < SA$. Sendo assim, verifica-se que em FC e BA os maiores valores médios de velocidade de ultrassons estão associados aos menores valores médios de absorção de água por capilaridade. Tal situação pode ser justificada com o facto de os provetes serem bastante compactos o que faz com que os ultrassons se propaguem com maior velocidade, no entanto como se está a analisar a velocidade de propagação de ultrassons na direção normal os efeitos são diferentes, pois nesta direção a existência de espaços vazios proporciona a diminuição das velocidades médias. Como se tratam de provetes bastante compactos pressupõe-se que tenham pouca quantidade de espaços vazios o que conduz a pouca absorção de água.

No que se refere à região SA, esta também é uma região com um elevado valor médio de velocidade de propagação de ultrassons na direção normal. Isto acontece porque os provetes desta região apresentam os planos de anisotropia pouco definidos o que pode levar a que os valores se alterem e que sejam muito próximos como se observa. No caso de CM e SM verificam-se as duas situações seguintes. CM apresenta um baixo valor médio de absorção de água por capilaridade associado a um valor médio de velocidade de propagação dos ultrassons também baixo. Em SM, observa-se um valor médio de velocidade dos ultrassons ainda mais baixo, no entanto, este está associado a um elevado valor médio de absorção de água, pois como já vem sendo dito estes provetes apresentam uma grande quantidade de espaços vazios associados à boa definição dos planos.

Na análise da direção paralela s_1 e s_2 , os valores médios de velocidade de propagação de ultrassons são sempre superiores, como já tem sido possível observar, no entanto, entre estas duas direções os valores apresentam-se diferentes. Desta forma, podem ser consideradas algumas situações isoladas. Destaca-se uma primeira situação, onde se englobam as regiões FC, SA, CM e BA e uma segunda, onde apenas é considerada a região SM. As regiões apresentam-se agrupadas desta forma pois umas apresentam os valores médios de velocidade de propagação de ultrassons bastantes afastados (nas direções s_1 e s_2), enquanto noutros casos os valores médios de velocidade são muito próximos, como se verifica em SM. Estes acontecimentos podem ser justificados considerando os mesmos pressupostos do subcapítulo 4.10.

Na Figura 4.13 representa-se graficamente os valores médios, que permitem estabelecerem a correlação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a resistência à cristalização de sais.

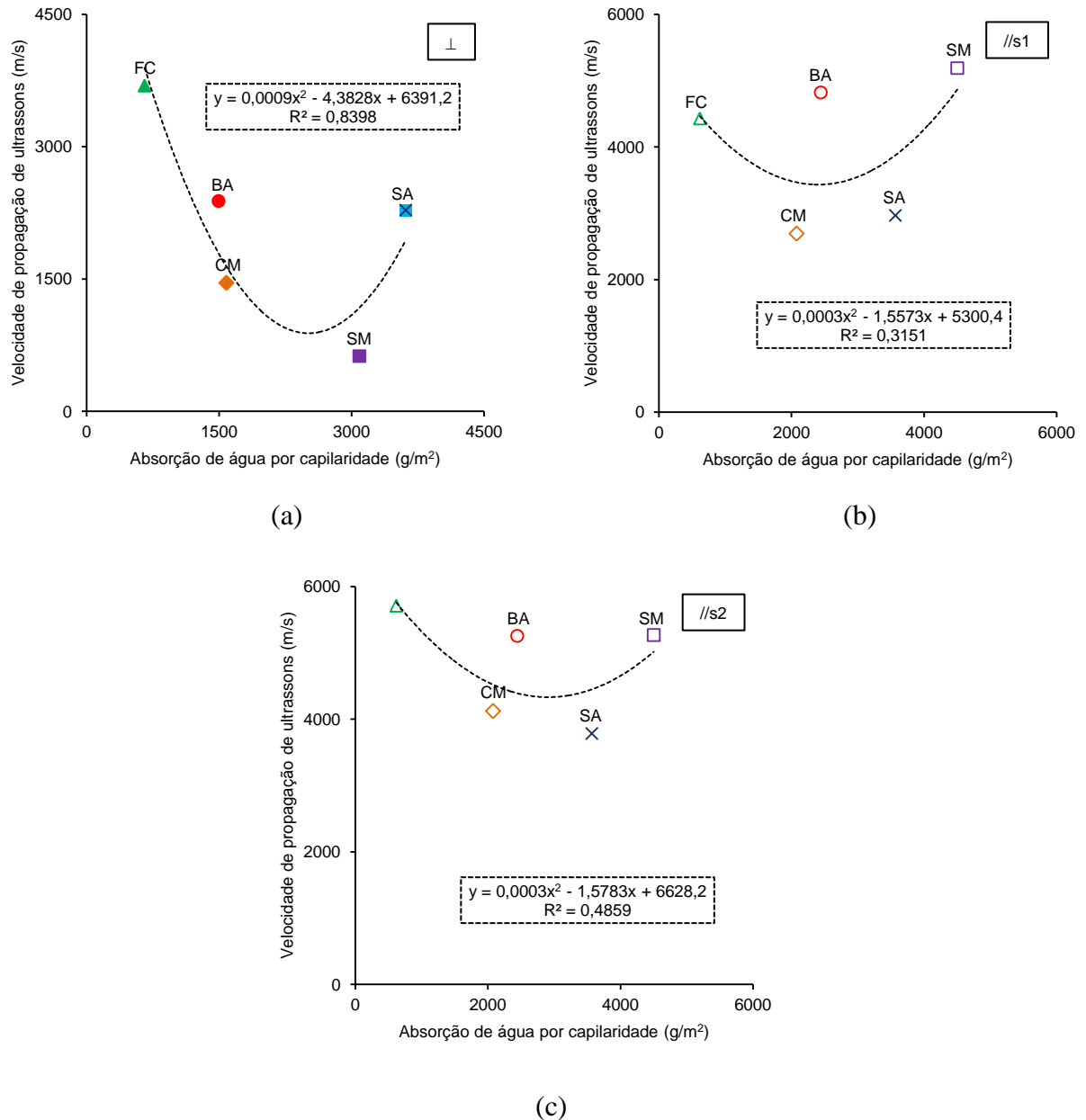


Figura 4.13 - Correlação entre os resultados de absorção de água por capilaridade e da velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal, (b) paralela s₁ e (c) paralela s₂.

Para correlacionar os valores médios dos dois ensaios em estudo recorreu-se à regressão polinomial, nas três direções. Através desta análise verifica-se que na direção normal o coeficiente de correlação (R^2) é 0,84, na direção paralela s₁ é 0,32 e na direção paralela s₂ é 0,49. Assim sendo observa-se que na direção normal existe uma boa correlação, não se

verificando o mesmo na direção paralela s_1 e s_2 . Nestas duas últimas a correlação é razoável para s_2 e má para s_1 . Novamente, as correlações matemáticas encontradas (curvas do 2º grau) não parecem consistentes com o expectável, pois a partir de certa altura a velocidade de propagação aumenta com o aumento da absorção por capilaridade.

4.12 Relação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a resistência à cristalização de sais

Na Tabela 4.14 apresentam-se os valores médios obtidos para se poder estabelecer uma relação entre a velocidade de propagação de ultrassons e a resistência à cristalização de sais.

Tabela 4.14 - Valores médios de resistência à cristalização de sais e da velocidade de propagação de ultrassons.

Região	Vila Nova de Foz Côa			Serra de Arga			Carrizado de Montenegro		
Direção Ensaio	\perp	// s_1	// s_2	\perp	// s_1	// s_2	\perp	// s_1	// s_2
Resistência à cristalização de sais (%)	0,15			-0,36			-1,09		
Ultrassons (m/s)	3692,4	4428,8	5712,4	2280,9	2968,2	3782,7	1456,2	2695,3	4121,4

Região	Sobral de São Miguel			Barqueiros		
Direção Ensaio	\perp	// s_1	// s_2	\perp	// s_1	// s_2
Resistência à cristalização de sais (%)	0,42			0,38		
Ultrassons (m/s)	626,0	5188,8	5267,5	2384,7	4822,4	5255,4

Da observação da Tabela 4.14 constata-se que na direção normal os valores médios de velocidade de propagação dos ultrassons são mais elevados nos provetes das regiões que apresentam ganho de massa (FC e BA) através do ensaio de resistência à cristalização de sais, exceto no caso da região SM, e valores menores de velocidade nos que se apresentam com perda de massa (SA e CM). No entanto é de referir que das regiões que ganharam massa, a que apresenta a menor percentagem média de resistência à cristalização de sais (FC) é a que apresenta maior valor médio de velocidade de propagação de ultrassons, nas que perderam

massa, a maior percentagem média de resistência à cristalização verifica-se na região que apresenta menor valor médio de velocidade.

Por tudo isto, conclui-se que os provetes FC e BA apresentam os valores médios mais elevados de velocidade de propagação de ultrassons, uma vez que se tratam de provetes bastante compactos, logo com poucos espaços vazios o que facilita a propagação das ondas de ultrassons. Através destes espaços vazios a solução de sulfato de sódio infiltra-se e cristaliza proporcionando o aumento da massa dos provetes que é possível observar através da percentagem média. No caso de BA o aumento de massa é um pouco superior a FC pelo facto dos provetes desta região possuírem mais espaços vazios.

No que se refere aos provetes de SA e CM, observa-se que para a primeira região a perda de massa é devida à erosão dos provetes uma vez que estes têm minerais bastante vulneráveis à ação dos sais, além de serem pouco compactos e com planos de anisotropia pouco definidos, o que dificulta a propagação dos ultrassons. Para a segunda região, a elevada perda de massa que se observa está relacionada com a rotura e erosão em simultâneo de certos provetes. Estes ao contrário dos SA têm menos espaços vazios e apresentam os planos de anisotropia bem definidos, o que por um lado poderia indicar que a velocidade de propagação de ultrassons seria maior do que SA mas não é o que se passa pois como os planos estão bem definidos os valores são diferentes para as 3 direções não havendo interferências nos resultados devido à má definição dos planos.

O caso de SM tem um valor médio de velocidade ultrassons muito baixo porque tem muitos espaços vazios diminuindo assim a velocidade nesta direção. No entanto estes espaços vazios são favoráveis à entrada da solução e cristalização dos sais no seu interior. Como são muitos verifica-se um enorme aumento de massa. Contudo esta situação não é normal porque os provetes entram em rotura e ganham massa.

No que diz respeito à direção paralela s_1 , verifica-se uma boa relação. Quando se observa o menor valor médio de resistência à cristalização (maior valor de perda de massa) de sais também se verifica o menor valor médio de velocidade de propagação de ultrassons nesta direção e assim sucessivamente até que se observa o maior valor médio de resistência à cristalização de sais (maior ganho de massa) associado ao maior valor médio de velocidade de ultrassons. No caso da direção paralela s_2 não se verifica uma relação como a de s_1 . Nesta os menores valores médios de velocidade de ultrassons são observados nas regiões em que ocorre perda de massa e os valores mais elevados nas regiões onde há ganho de massa.

Para uma melhor interpretação do que acontece nos provetes na direção paralela e de que forma os ensaios se relacionam nesta direção analisam-se as componentes s_1 e s_2 em simultâneo. Sabe-se que quanto mais diferentes forem os valores médios obtidos para cada uma das direções paralelas (s_1 e s_2) mais irregulares são os planos de anisotropia. Assim sendo verifica-se que para SM os planos estão bem definidos e regulares, uma vez que apresentam valores muito próximos. Esta constatação também é possível observar ocularmente pelo fácil destacamento das folhas. Como se trata da direção paralela sabe-se que a propagação das ondas através dos planos é mais fácil porque não encontra espaços vazios ao longo dos planos. No entanto, os espaços vazios entre os planos são grandes o que proporciona a infiltração da solução e a sua cristalização em sais que no caso em questão leva à rotura dos provetes em folhas perfeitas e as que não fraturam ficam com os sais no interior. Nas restantes regiões observa-se que os dois valores médios se encontram mais ou menos afastados dependendo da região.

Na Figura 4.14 apresenta-se graficamente a correlação entre os valores médios obtidos para os dois ensaios nas três direções.

Para a análise matemática dos gráficos da Figura 4.14 nas três direções em estudo recorreu-se à regressão polinomial nas três situações. Na direção normal constata-se que a correlação não é boa pois apresenta um coeficiente de correlação de 0,36, enquanto na direção paralela s_1 , a correlação é excelente pois tem um coeficiente de correlação de 0,98. Por fim na direção paralela s_2 observa-se uma correlação razoável devido ao $R^2=0,68$. Com tudo isto se considera que a direção paralela s_1 é a que melhor permite correlacionar os valores médios de ambos os ensaios.

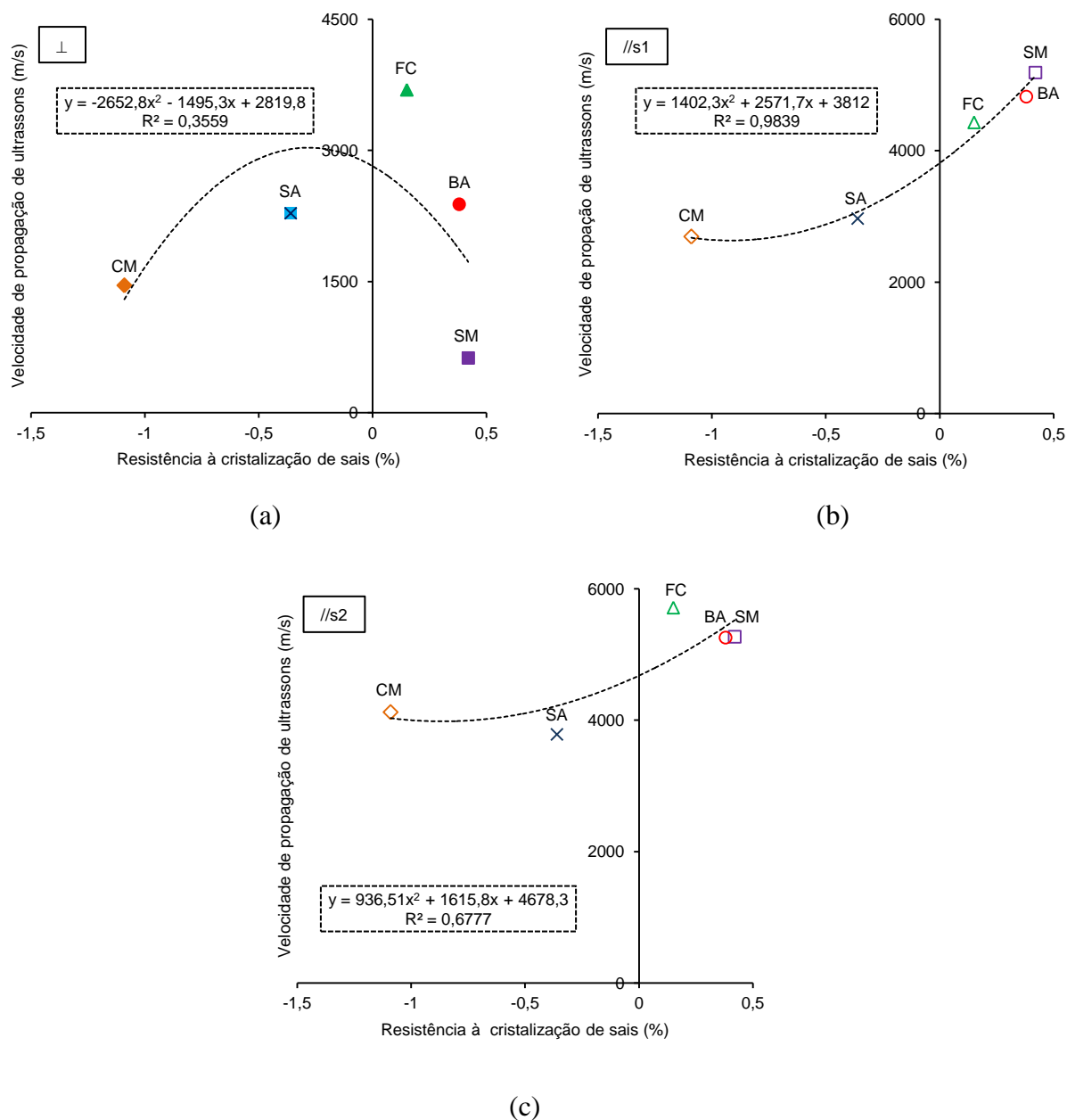


Figura 4.14 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2 .

Como tem vindo a acontecer, os ensaios que se correlacionam com o ensaio de resistência à cristalização de sais são também analisados não considerando a região SM pelos fatores já mencionados no Capítulo 3. Sendo assim na Figura 4.15 apresenta-se novamente a correlação entre os valores médios do ensaio em estudo mas sem SM.

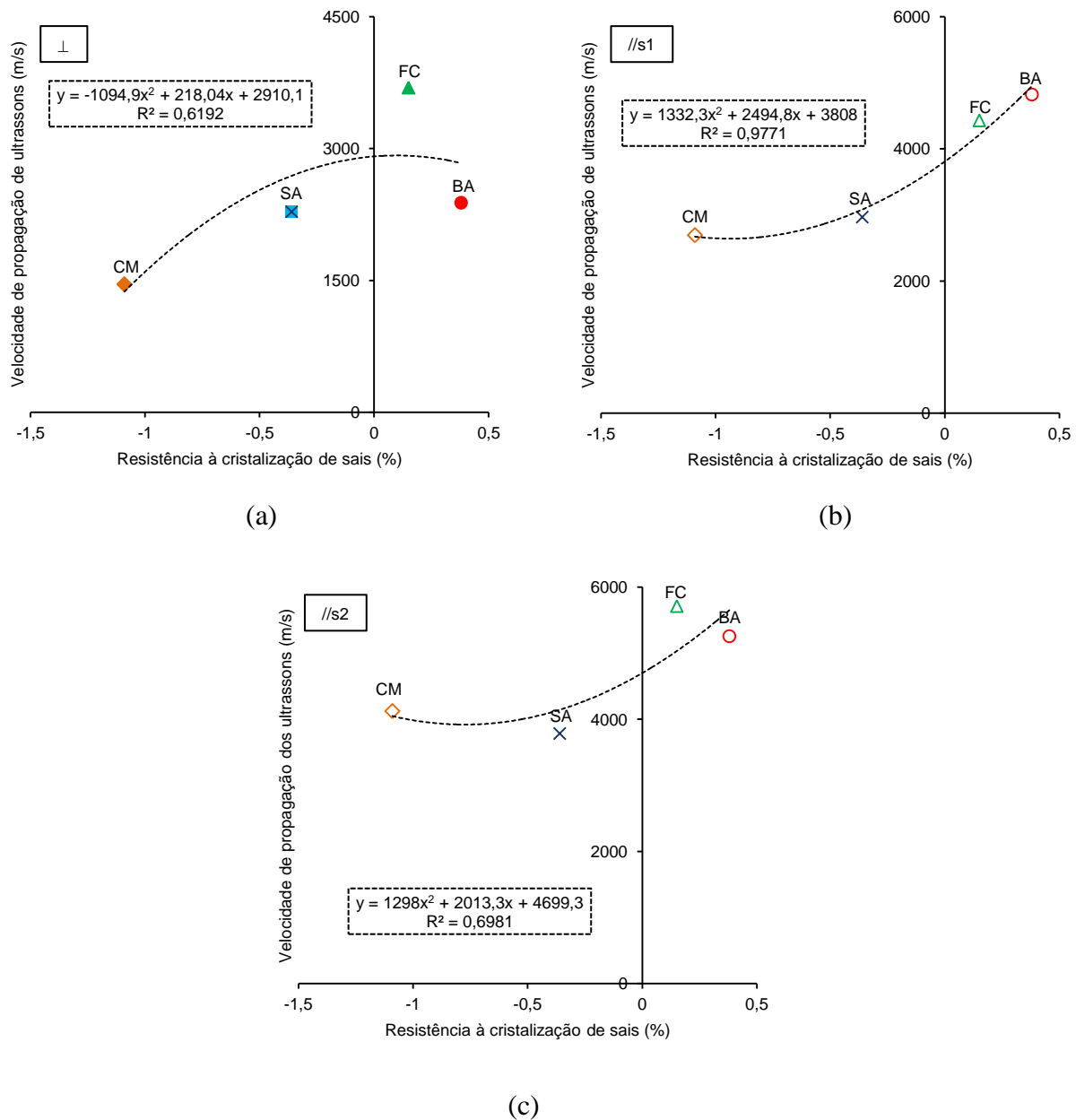


Figura 4.15 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de velocidade de propagação de ultrassons na direção: (a) normal, (b) paralela s_1 e (c) paralela s_2 , sem a consideração de Sobral de São Miguel.

Para a análise dos valores médios novamente se recorreu à regressão polinomial para as três direções verificando-se um coeficiente de correlação de 0,62 na direção normal, 0,98 na direção paralela s_1 e 0,70 na direção paralela s_2 . Neste caso, sem a consideração de SM, a correlação melhorou na direção normal pois o coeficiente de correlação aumentou quase o dobro, mantendo-se na paralela s_1 e aumentando pouquíssimo na paralela s_2 .

4.13 Relação entre a absorção de água à pressão atmosférica e a absorção de água por capilaridade

A análise entre o ensaio de absorção de água à pressão atmosférica e a absorção de água por capilaridade permite avaliar até que ponto os dois tipos de absorção estão interligados.

Tabela 4.15 - Valores médios de absorção de água por capilaridade e de absorção de água à pressão atmosférica.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção Ensaio	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Absorção de água por capilaridade (g/m ²)	656,0	614,4	3612,8	3565,6	1580,8	2075,2	3087,2	4501,6	1492	2442,4
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0,57		2,99		1,48		3,55		1,82	

Na tabela constata-se que em FC a baixa percentagem média de absorção de água à pressão atmosférica está de acordo com o baixo valor médio de absorção de água por capilaridade nas duas direções. O mesmo não se passa com CM e BA, pois verifica-se que para CM a percentagem média apresentada para a absorção de água à pressão atmosférica não está de acordo com o valor médio que esta região tem para a absorção por capilaridade, na direção normal. Segundo o que se observa, o valor médio de absorção por capilaridade que deveria corresponder é o de BA pois é menor. Contudo, os valores não apresentam uma diferença muito grande. A mesma situação se observa para SA e SM, na direção normal.

Na direção paralela verifica-se que os valores estão todos corretamente associados, ou seja, que as percentagens médias menores de absorção de água à pressão atmosférica estão associadas aos menores valores médios de absorção de água por capilaridade e assim sucessivamente até se verificarem os maiores valores médios nos dois ensaios.

FC é a única região em que os dois ensaios apresentam os valores em concordância porque é uma região em que os provetes apresentam uma foliagem muito compacta com poucos espaços vazios, daí que a absorção média seja baixa, comparativamente aos restantes resultados, fazendo com que os seus valores se destaquem dos valores médios das restantes regiões. O facto de na direção paralela os valores serem todos associados linearmente relaciona-se com a maior facilidade que a água tem em infiltrar-se nesta direção e daí se

obterem sempre valores médios elevados que se destacam devido às diferentes capacidades de absorção dos provetes de determinadas regiões. Os gráficos da Figura 4.16 representam os valores médios obtidos para os dois ensaios em estudo.

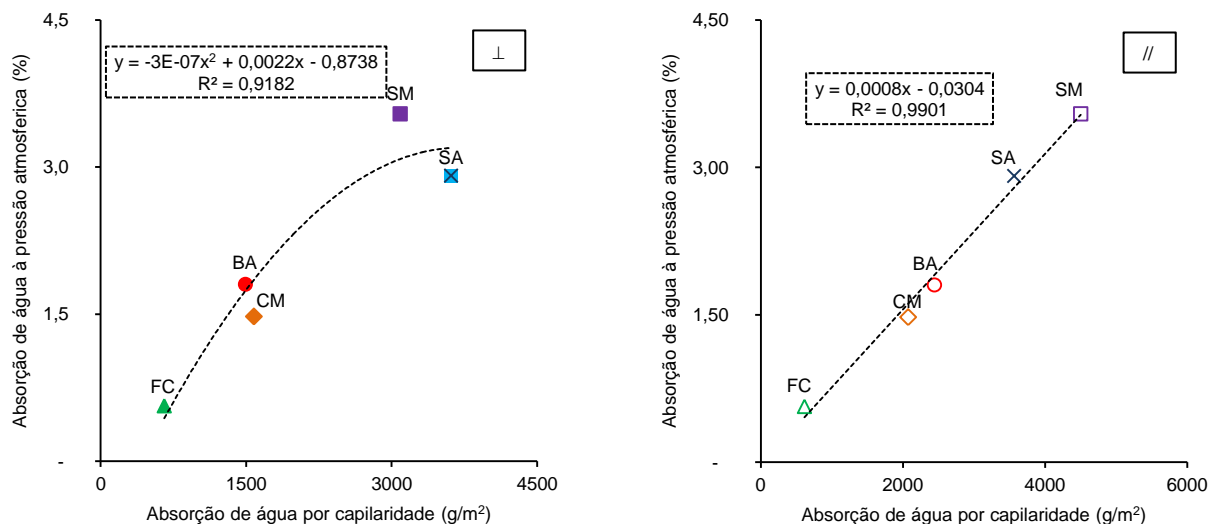


Figura 4.16 - Correlação entre os resultados de absorção de água por capilaridade e de absorção de água à pressão atmosférica na direção normal e paralela, respetivamente.

Para a correlação destes dois ensaios recorreu-se à regressão polinomial na direção normal e linear na direção paralela. Para a primeira obteve-se um $R^2=0,92$ e para a segunda um $R^2=0,99$. Através destes coeficientes constata-se que os dois ensaios em análise se correlacionam de forma excelente principalmente na direção normal que se pode dizer que a correlação é perfeita. Estes resultados eram expectáveis, um vez que os dois parâmetros estão relacionados com o mesmo fenómeno físico (absorção de água).

4.14 Relação entre a absorção de água à pressão atmosférica e a resistência à cristalização de sais

Tabela 4.16 - Valores médios de resistência à cristalização de sais e de absorção de água à pressão atmosférica

Região	Vila Nova de Foz Côa	Serra de Arga	Carrazedo de Montenegro	Sobral de São Miguel	Barqueiros
Resistência à cristalização de sais (%)	0,15	-0,36	-1,09	0,42	0,38
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0,57	2,99	1,48	3,55	1,82

Analisando a Tabela 4.16 constata-se que não existe nenhuma relação entre as percentagens médias do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica e de resistência à cristalização de sais. Contudo, certas conclusões conseguem ser tiradas tendo em consideração as características dos provetes das diferentes regiões nomeadamente no que se refere à quantidade de vazios, que pode ser comprovada com a absorção de água. FC e BA são as regiões que apresentam ganho de massa embora em percentagens diferentes. Este pequeno ganho de massa de FC deve-se ao facto dos provetes apresentarem pouca quantidade de vazios, através dos quais a solução de sulfato de sódio migra para o interior destes. Como se tratam de provetes bastante compactos quando os sais cristalizam dentro dos provetes estes não entram em rotura mas aumentam a percentagem de massa. Os provetes de BA apesar de também serem compactos apresentam uma maior quantidade de vazios o que propicia a que haja um aumento na percentagem de massa superior ao verificado para FC.

No que se refere aos provetes com perda de massa tem-se SA e CM. Em SA a perda de massa está associada à fraca compactação dos provetes sendo por isso que existem bastantes espaços vazios propícios à infiltração de sais. Apesar da existência de espaços vazios, não ocorreu a rotura de nenhum dos provetes mas sim uma enorme erosão exterior. Situação idêntica se verifica em CM pois apesar de os provetes serem compactos e da pouca quantidade de vazios estes apresentam minerais bastante fracos pois a grande perda de massa que se verifica é devida à extensa erosão exterior.

Por fim os provetes SM são uma exceção porque tem uma grande quantidade de espaços vazios, o que se pode comprovar com a grande absorção de água, e no entanto ganha massa.

Na Figura 4.17 é visível o gráfico onde se apresenta a correlação entre os dois ensaios.

Através do gráfico apresentado se verifica que a correlação existente entre o ensaio de resistência à cristalização de sais e de absorção de água à pressão atmosférica é má, uma vez que através da regressão polinomial efetuada se obteve um coeficiente de correlação de praticamente de 0. Sendo assim, comprova-se o que já mencionou na análise qualitativa apresentada.

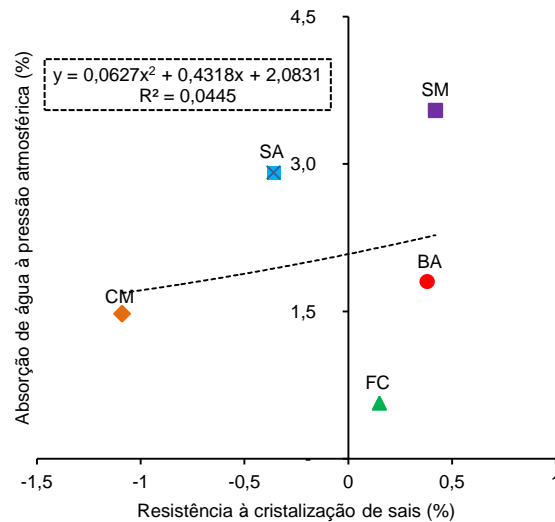


Figura 4.17 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de absorção de água à pressão atmosférica

Como tem vindo a acontecer ao longo do Capítulo 4 quando se correlaciona o ensaio de resistência à cristalização de sais com um dos outros apresenta-se um segundo gráfico acompanhado de análise matemática para que se possa observar a influência nos resultados do facto de SM ser retirado. Assim na Figura 4.18 se representa graficamente os valores médios, sem considerar SM.

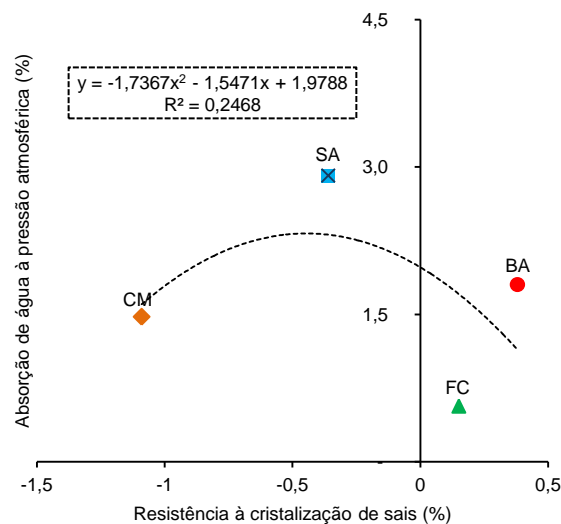


Figura 4.18- Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e absorção de água à pressão atmosférica, sem consideração de Sobral de São Miguel.

Na Figura 4.18 verifica-se novamente a análise dos valores médios dos dois ensaios através da regressão polinomial, mas sem a consideração de SM. O coeficiente de correlação aumenta um pouco, no entanto continua a verificar-se uma má correlação visto que o coeficiente de correlação é de 0,25.

4.15 Relação entre a absorção de água por capilaridade e a resistência à cristalização de sais

A relação entre a absorção de água por capilaridade e a resistência à cristalização de sais apresenta uma análise muito semelhante à do subcapítulo 4.14. Só que nesta existe a diferença de num dos ensaios serem consideradas as duas direções.

Tabela 4.17 - Valores médios de resistência à cristalização de sais e de absorção de água por capilaridade.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
Direção Ensaio	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
Resistência à cristalização de sais (%)	0,15		-0,36		-1,09		0,42		0,38	
Absorção de água por capilaridade (g/m ²)	656,0	614,4	3612,8	3565,6	1580,8	2075,2	3087,2	4501,6	1492	2442,4

O observado neste ensaio é muito semelhante ao que se verifica na análise da relação entre a absorção de água à pressão atmosférica e a resistência à cristalização de sais, mas nesta situação a absorção de água é medida nas duas direções. Novamente se verifica que não existe nenhuma relação entre os valores médios de ambos os ensaios.

Qualitativamente através desta análise perceber-se com mais precisão qual a direção dos provetes que tem mais absorção, sabendo-se assim onde há mais infiltração de sulfato de sódio que cristalizando deposita os sais no interior destes. Com tudo isto se sabe que as percentagens médias de perda ou ganho de massa se devem mais a uma direção do que a outra. No caso de FC e de SA, apesar da proximidade dos valores médios de absorção constata-se que a direção normal é a mais favorável à absorção de água. Em CM, SM e BA os valores apresentam-se bem diferenciados verificando-se perfeitamente que a direção paralela é a que apresenta maior absorção. Contudo, é importante destacar que a região de SM apresenta valores médios de absorção bem superiores a todas as outras regiões devido à ótima

definição dos planos de anisotropia. Daí resulta também uma elevada infiltração da solução que como não quebra todos os planos dos provetes fica depositada dentro destes aumentando bastante a sua massa. Na Figura 4.19 observam-se os dois gráficos que permitem correlacionar os valores médios do ensaio de absorção de água por capilaridade e da resistência à cristalização de sais, nas duas direções em estudo.

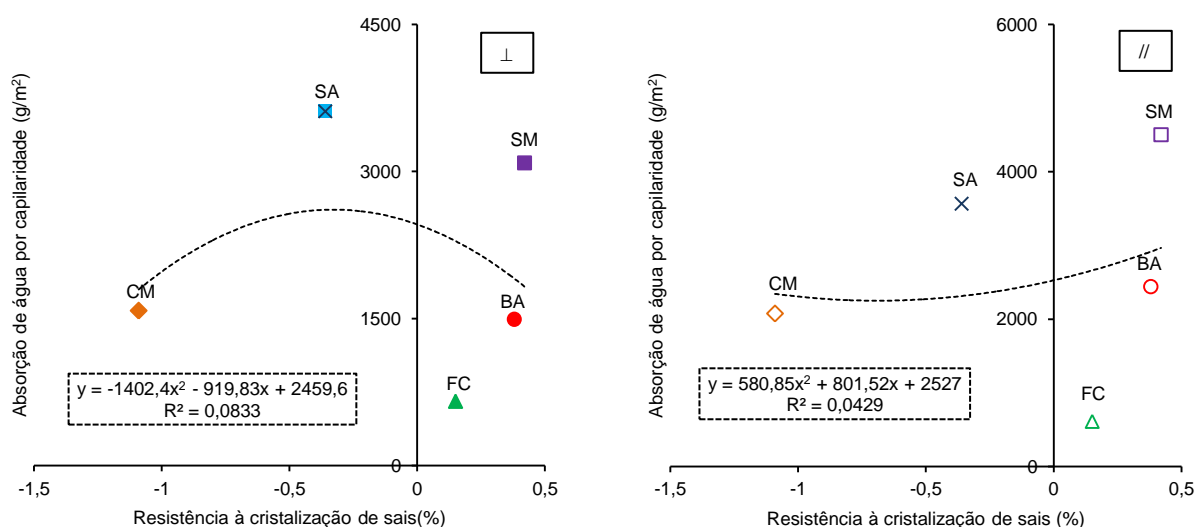


Figura 4.19 – Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de absorção por capilaridade na direção normal e paralela, respetivamente.

Na Figura 4.19 para se efetuar a correlação entre o ensaio de absorção de água por capilaridade e a resistência à cristalização de sais recorreu-se à regressão polinomial em ambas as direções. Verificou-se que a correlação entre estes dois ensaios é muito má. Isto porque apresentam coeficientes de correlação de 0 nas duas direções (0,08 e 0,04 para a direção normal e paralela, respetivamente).

A conclusão que se pode retirar desta análise quantitativa é a mesma que se apresentou no subcapítulo 4.14, ou seja, que os resultados das várias regiões se encontram muito dispersos.

Numa tentativa de analisar se a correlação seria melhor também se experimentou retirar a região de SM na análise dos dados e observou-se a representação gráfica da Figura 4.20.

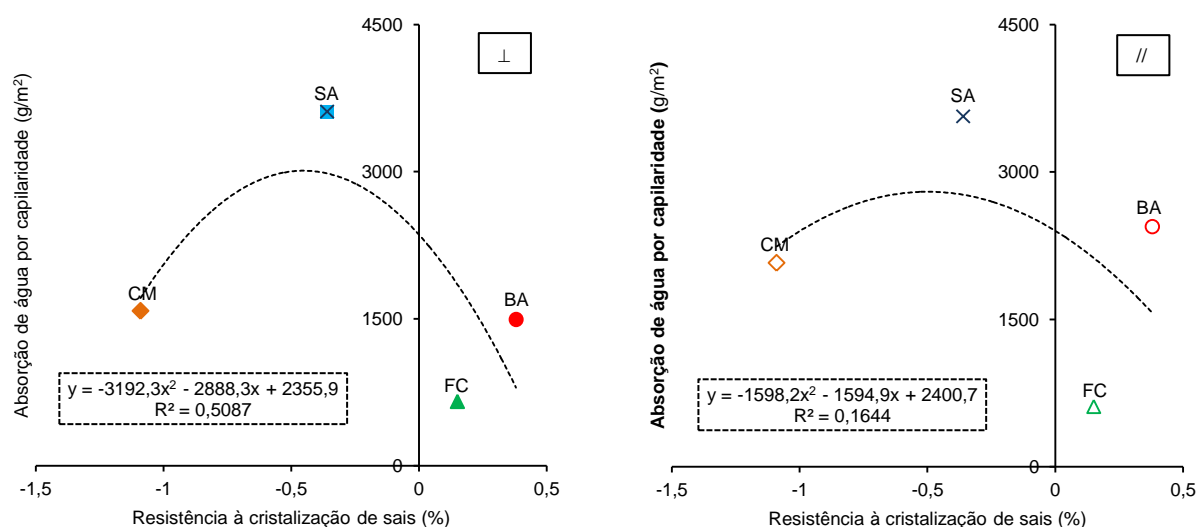


Figura 4.20 - Correlação entre os resultados de resistência à cristalização de sais e de absorção de água por capilaridade, sem consideração de Sobral de São Miguel.

Com o recurso à regressão polinomial novamente se analisa a relação entre estes dois ensaios. A correlação verificada sem a consideração de SM é melhor nomeadamente na direção normal. Nesta situação a correlação para a direção normal é razoável pois apresenta um coeficiente de correlação de 0,51, no entanto, para a direção paralela continua a ser má pois o coeficiente de correlação é 0,16.

A conclusão que aqui se pode retirar é que na direção normal a correlação é razoável uma vez que os valores médios já apresentam alguma correlação entre si. Contudo, é difícil extrair um significado físico robusto da correlação matemática.

4.16 Síntese dos ensaios

De forma a analisar de uma melhor forma os coeficientes de correlação observados na relação dos diversos ensaios resolveu-se apresentá-los resumidamente na Tabela 4.18. Para cada um dos ensaios efetuou-se a média dos coeficientes de correlação obtidos quando esse ensaio era relacionado com os restantes ensaios em estudo. O mesmo processo foi efetuado para todos os ensaios como se pode perceber pela observação da Tabela 4.18.

O cálculo destas médias tem como objetivo perceber qual ou quais os ensaios que apresentam melhor correlação com todos os outros. Contudo, deve ter-se em atenção que estas previsões apenas servem como uma análise estatística.

Tabela 4.18 – Coeficientes de correlação obtidos na relação entre os ensaios em estudo, na direção normal e paralela.

R^2	RC_{\perp}	$RC_{//}$	CP_{\perp}	$CP_{//}$	US_{\perp}	$US_{//s1}$	$US_{//s2}$	AA_{\perp}	$AA_{//}$	AC_{\perp}	$AC_{//}$	CS_{\perp}	$CS_{//}$
RC_{\perp}	----	----	0,93	----	0,51	----	-----	0,69	-----	0,86	----	0,14	----
$RC_{//}$	-----	-----	-----	0,87	-----	0,00	0,18	-----	1	-----	0,99	-----	0,01
CP_{\perp}	0,93	-----	-----	-----	0,69	-----	-----	0,64	-----	0,78	-----	0,28	----
$CP_{//}$	-----	0,87	-----	-----	-----	0,02	0,33	-----	0,89	-----	0,92	-----	0,13
US_{\perp}	0,51	-----	0,69	-----	-----	-----	-----	0,59	-----	0,84	-----	0,36	-----
$US_{//s1}$	-----	0,00	-----	0,02	-----	-----	-----	-----	0,26	-----	0,32	-----	0,98
$US_{//s2}$	-----	0,18	-----	0,33	-----	-----	-----	-----	0,46	-----	0,49	-----	0,68
AA_{\perp}	0,69	----	0,64	-----	0,59	-----	-----	-----	-----	0,92	-----	0,04	-----
$AA_{//}$	-----	1	-----	0,89	-----	0,26	0,46	-----	-----	-----	0,99	-----	0,25
AC_{\perp}	0,86	-----	0,78	-----	0,84	-----	-----	0,92	-----	-----	-----	0,08	-----
$AC_{//}$	-----	0,99	-----	0,92	-----	0,32	0,49	-----	0,99	-----	-----	-----	0,04
CS_{\perp}	0,14	-----	0,28	-----	0,36	-----	-----	0,04	-----	0,08	-----	-----	-----
$CS_{//}$	-----	0,01	-----	0,13	-----	0,98	0,68	-----	0,25	-----	0,04	-----	-----
Total	0,63	0,51	0,66	0,53	0,60	0,32	0,43	0,58	0,64	0,70	0,63	0,18	0,35

De acordo com o observado o ensaio que apresenta o maior valor médio do coeficiente de correlação é o ensaio de absorção de água por capilaridade na direção normal, ou seja, este é o ensaio que melhor permite correlacionar os resultados. Contudo, existem ensaios que também apresentam valores médios do coeficiente de correlação próximos do considerado para o melhor ensaio. Ensaios como a carga de ponta na direção normal, a absorção de água à pressão atmosférica, a absorção de água por capilaridade na direção paralela e a resistência à compressão na direção normal são ensaios que também permitem uma boa correlação dos resultados.

No que se refere ao pior ensaio que correlaciona os valores médios dos ensaios tem-se a cristalização de sais na direção normal e paralela e a velocidade de propagação de ultrassons na direção paralela s_1 .

Como se mencionou esta é uma análise estatística e o que realmente importa ter em consideração nestas relações, ao longo deste capítulo, é a correlação de todos os ensaios com a resistência à compressão pois é através deste que se obtém as melhores correlações, servindo as restantes relações apresentadas para demonstrar que não existe correlação entre determinados ensaios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Considerações finais

- Através do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica constata-se que os provetes da região FC são os que absorvem menor quantidade de água, enquanto os da região SM são os que absorvem mais. Assim se conclui que os xistos FC são os melhores com o intuito de serem utilizados na construção (tendo em conta apenas esta propriedade).
- No ensaio de absorção de água por capilaridade, apenas na região FC e SA a absorção é maior na direção normal. Para as restantes regiões (CM, SM e BA) a absorção é superior na direção paralela. Neste ensaio verifica-se que os provetes FC apresentam a menor absorção de água por capilaridade, enquanto os SA e SM apresentam elevados valores de absorção. Desta forma se obtém a mesma conclusão do ponto anterior.
- No ensaio de ultrassons verifica-se que a direção paralela é a que apresenta os maiores valores médios de velocidade de propagação para todas as regiões.

- Na execução do ensaio de resistência à compressão observa-se que os provetes da região FC são os mais resistentes nas duas direções e apresentam valores médios idênticos, enquanto os SA e SM apresentam menor resistência. Novamente se volta a verificar que os provetes FC apresentam mais uma característica vantajosa para puderem ser utilizados na construção.
- No ensaio de carga de ponta a direção normal é a que apresenta maiores valores para todas as regiões, exceto para FC e SA que apresentam valores muito idênticos nas duas direções, no entanto FC apresenta elevados valores médios e SA baixos valores médios.
- No ensaio de resistência à cristalização de sais os provetes das regiões de FC, SM e BA apresentam ganho de massa, enquanto nos provetes das regiões de SA e CM se verifica perda de massa.
- Pelo exposto, conclui-se que os provetes FC são os mais fiáveis para a utilização na construção. Em relação aos que não se devem utilizar salientam-se os SM e SA por apresentarem diversas fragilidades como a elevada absorção de água, a fraca resistência à compressão e o baixo índice de carga de ponta.

No capítulo 4 concluíram-se os seguintes aspetos que importa referir:

- Os coeficientes de correlação da resistência à compressão com a carga de ponta e com a absorção de água por capilaridade são os mais elevados nas duas direções, quando comparados com os obtidos para a relação dos restantes ensaios com o ensaio de resistência à compressão.
- Na relação do ensaio de resistência à compressão com o ensaio de absorção de água à pressão atmosférica verifica-se que a correlação é muito boa na direção paralela.
- A relação do ensaio de resistência à compressão com a velocidade de propagação de ultrassons e com a resistência à cristalização de sais apresenta sempre coeficientes de correlação baixos.

- Os coeficientes de correlação do ensaio de carga de ponta com a absorção de água por capilaridade são os mais elevados, tanto na direção normal como na paralela, relativamente às restantes correlações existentes com a carga de ponta.
- Na relação do ensaio de carga de ponta com absorção de água à pressão atmosférica, o coeficiente de correlação é bastante elevado na direção paralela.
- O ensaio de velocidade de propagação de ultrassons apenas apresenta valores elevados de coeficientes de correlação quando relacionado com a absorção de água por capilaridade, na direção normal e quando relacionado com a resistência à cristalização de sais, na direção paralela s_1 .
- Os coeficientes de correlação obtidos da relação do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica com a absorção de água por capilaridade são bastante elevados, como seria de esperar.
- Em todas as correlações o coeficiente de correlação, em ambas as direções, aumenta quando na comparação de um ensaio com a resistência à cristalização de sais não se considera a região SM.
- A relação entre o ensaio de absorção de água à pressão atmosférica e do ensaio de resistência à cristalização de sais apresenta uma péssima correlação. Verifica-se o mesmo quando se analisa a relação entre o ensaio de absorção de água por capilaridade e o de resistência à cristalização de sais.
- Os ensaios que apresentam uma má correlação com os restantes ensaios são a resistência à cristalização de sais, na direção normal e paralela, e a velocidade de propagação dos ultrassons na direção paralela s_1 .

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

O trabalho realizado teve apenas em consideração xistos presentes nas zonas do Norte e Centro do país. Seria importante em trabalhos posteriores analisar os xistos na zona Sul do país para se ter um conhecimento do xisto existente no território nacional.

O ensaio de resistência à cristalização de sais deve ser realizado mais vezes, nomeadamente para a região SM, pois é importante perceber-se se a situação que se verificou neste estudo se continua a verificar quando os provetes da mesma região voltarem a ser ensaiados.

Ensaio como o gelo/degelo, o esclerómetro de Schmidt, o de microscopia ótica, o de cromatografia iónica e a medição da deformação devem ser efetuados para que se possam avaliar mais características deste tipo de rocha sobre a qual não existe ainda muita informação.

Bibliografia

<http://outeirobrg.com.sapo.pt>. <http://outeirobrg.com.sapo.pt/patrimonio/habt/habitacoes.html> (acedido em 20 de Dezembro de 2011).

www.igeo.pt. 2002. http://www.igeo.pt/atlas/cap1/Cap1c_1.html (acedido em 19 de Dezembro de 2011).

Aires-Barros, Luis. *As rochas dos monumentos portugueses tipologias e patologias*. Vol. I. IPAAR, Lisboa, Abril de 2001.

Ajustawijaya. *The Uniaxial Compressive Strength of Soft Rock*. Mataram, Indonesia: Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, 2007.

Barros, Ricardo. *Principais tipologias e danos observados nas construções em xisto - Conservação e inspeção das estruturas*. Guimarães: Universidade do Minho, 2009.

Barros, Ricardo. *Caracterização do material (versão provisória)*. Escola de Engenharia - Universidade do Minho, 2011.

Bell, F.G. *Engineering Geology - Second Edition*. Elsevier, 2007.

Bieniawski, Z. T. *Estimating the strength of rock materials*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 1974.

Brito, Raquel Soeiro. *A Terra que Habitamos - Evolução Geológica do Oeste Peninsular*. 2002.

Broch, E.e Franklin, J.A. *The point load strength test*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract, 1972.

Brook, N. *The use of irregular specimens for rock strength tests*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract, 1977.

Búrcio, M.D. *Control Estrutural da Localização de Pedreiras de Esteios de Xisto para Vinha em Vila Nova de Foz Côa*. Évora: Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Cartografia Geológica na Universidade de Évora, 2004.

- Cardoso, Ana Paredes. “Arquitectura em xisto.” *Jornal ABARCA*, 2006: 1.
- Carvalho, A.M. Galopim de. *Geologia - petrogénese e orogénese*. Universidade Aberta, 1997.
- Carvalho, Bárbara Rangel. *A matéria como instrumento da concepção arquitetónica - As alvenarias resistentes nas técnicas tradicionais portuguesas*. Porto: Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Construções de Edifício: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.
- Chau, K.T. & Wong, R.H.C. *Uniaxial Compressive Strength and Point Load Strength of Rocks. Technical Note*. Int. J. Rock Mechanics and Mining Sciences, 1996.
- Costa, Joaquim Botelho da. *Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico*. 6.^a Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.
- EN 12371:2001 *Natural stone test methods - Determination of frost resistance*. IPQ.
- EN 12504-4 - *Testing concrete-Part4:Determination of ultrasonic pulse velocity*. CEN, 2003.
- F. Noronha, M.Sousa, C.Carvalho, M.A. Ribeiro, A. Casal Moura,J.Farinha Ramos. *Rochas Xistentas de Trás-Os-Montes como recurso*. 2010.
- F.Blyth, M.Freitas e. *A geology for engineers*. Oxford: ELSEVIER, 2005.
- Ferreira, M.P. “A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos .” In *As Pedreiras do Poio (Foz Côa) - A Região e o Turismo*, de L.F. & De Almeida,P.G. Gomes, 18. Coimbra : Impresa da Universidade de Coimbra, 2003.
- Figueiredo, Elsa Maria Alves. “O Espaço Público das Aldeias da Beira Transmontana: que requalificação?” Porto: Faculdade de Arquitectura e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Setembro de 2004.
- G.P.Tziallas, G.Tsiambaos e H.Saroglou. *Determination of a rock strength and deformability of a intact rocks*. <http://ejge.com/2009/Ppr0960/Ppr0960w.pdf> (acedido em 7 de 9 de 2012).
- Galhano, Ernesto Veiga de Oliveira e Fernando. *Arquitectura Tradicional Portuguesa*. 2.^a edição. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1994.

Galvão, Jorge Manuel Porteiro. *Técnicas de ensaio in-situ para avaliação do comportamento mecânico de rebocos em fachadas - Esclerómetro e ultra-sons*. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

Greninger, M. *Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point load testing*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract, 1982.

Grillo, F. *Edifici in muratura*. Roma : Edizioni Kappa, 2002.

Guidebook on non-destructive testing of concrete structures. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002.

Guimarães, João Pedro Pinto. “Técnicas tradicionais de construção, anomalias e técnicas de intervenção em fachadas e coberturas de edifícios antigos.” 2009.

Harrison, John P. e Hudson Freng, John A. *Engineering rock mechanics: part 2. Illustrative worked examples*. University of London, UK: Pergarnon, 2000.

“<http://e-geo.ineti.pt>.” http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_geologico/termo.aspx?termo=xisto%20verde
(acedido em 6 de Janeiro de 2012).

“<http://fauufpa.wordpress.com>.” (acedido em 9 de Janeiro de 2012).

Joana Filipa Dias Faria, Fernando Pacheco Torgal, Said Jalali. *Desenvolvimento de argamassas para reabilitação de edifícios antigos. Parte 2 - Comportamento à água*. Guimarães: Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 2011.

Johnson, Robert B. e De Graff, Jerome V. *Principles of Engineering Geology*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 1988.

Kornprobst, Jacques. *Metamorphics rocks and their geodynamic significance - A petrological handbook*. Kluwer Academic Publishers, 2003.

Lanzinha, João P. Castro-Gomes e João C.G. “Recuperação de Habitações Rurais como Contributo para a Construção Sustentável.” Covilhã: 1996.

Lourenço, Paulo B. “A segurança no trabalho e o património arquitectónico.” 2007.
<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/9176/1/Lourenco12.pdf>.

M. Marques, B. Marques e J.Rodrigues. *Degradação e conservação da pedra em estruturas de alvenaria*. Lisboa: LNEC, 2006.

Maia, Soraia Maria Carlos. *Estudo Integrado Geológico/Tecnológico de Rochas Ornamentais*. Universidade do Rio Grande do Norte, 2004.

Martins, Francisco Ferreira e Miranda, Tiago Filipe da Silva Miranda. “Correlações entre algumas propriedades mecânicas de rochas graníticas com vista à escavação de túneis.” Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. pp.9.

Mendonça, Bruno de Viveiros. *Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas - Influência do ligante*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Novembro de 2007.

Miranda, Tiago Filipe da Silva. “Condução de um estudo geológico-geotécnico.” *Apontamentos teóricos de Túneis e Obras Subterrâneas*. Guimarães: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.

Moreira, Anabela Mendes. *Materiais de Construção I - Pedras Naturais*. Instituto Politécnico de Tomar Escola Superior de Tecnologia de Tomar - Departamento de Engenharia Civil, 2008/2009.

Moreira, Inês Silva Lamelas van Brabant. *Aldeias de xisto - Projecto para a reabilitação da aldeia de Cerdeira*. Coimbra: Departamento de Arquitectura da Faculdade de Ciências e Tecnologias; Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura, 2011.

Nepumoceno, Miguel Costa Santos. *Trabalhos Não Destrutivos em Betão*. Covilhã: Universidade da Beira Interior- Departamento de Engenharia Civil, 1999.

NP EN 12370:2001 *Métodos de ensaio para pedra natural - Determinação da resistência à cristalização de sais*. IPQ.

NP EN 13755:2005 *Métodos de ensaio para pedra natural - Determinação da absorção de água à pressão atmosférica*. IPQ.

NP EN 1925:2000 *Métodos de ensaio para pedra natural-Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade*. IPQ.

NP EN 1926:2000 *Métodos de ensaio para pedra natural-Determinação da resistência à compressão*. IPQ.

Pinho, António Bastos. *Caracterização geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência - O flysch do Baixo Alentejo*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia. Évora: Universidade de Évora, 2003.

Pinto, J. Loureiro. “Deformabilidade de rochas xistosas.” Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1973. 6.

Portugueses, Associação Dos Arquitectos. *Arquitectura popular em Portugal*. AAP,Lisboa, 1988.

Rusnak, John e Mark, Christopher. “Using the point load test to determine uniaxial compressive strength of coal measure rock.” 1999.

Test, ISMR - Point Load. “Suggested Method for Determining Point Load Strength.” <http://pt.scribd.com/doc/82179661/ISRM-Suggested-Method-for-Determining-Point-Load-Strength> (acedido em 22 de 8 de 2012).

Woolfitt, Catherine. *Soluble Salts in Mansory*. 2000. <http://www.buildingconservation.com/articles/salts/salts.htm> (acedido em 20 de Outubro de 2012).

www.snirh.pt. (acedido em 2 de Janeiro de 2012).

A Determinação da absorção de água à pressão atmosférica

Na Tabela A.1 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de absorção de água à pressão atmosférica para cada um dos 10 provetes, das 5 regiões em estudo.

Tabela A.1 - Resultados do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica.

Região	Vila Nova de Foz Côa	Serra de Arga	Carrazedo de Montenegro	Sobral de São Miguel	Barqueiros
Valores de absorção de água à pressão atmosférica	FC-AA-1 0,57	SA-AA-1 2,053	CM-AA-1 1,036	SM-AA-1 3,374	BA-AA-1 2,738
	FC-AA-2 0,55	SA-AA-2 2,252	CM-AA-2 1,553	SM-AA-2 7,324	BA-AA-2 1,482
	FC-AA-3 0,54	SA-AA-3 1,451	CM-AA-3 1,170	SM-AA-3 ———	BA-AA-3 1,488
	FC-AA-4 0,51	SA-AA-4 1,891	CM-AA-4 1,703	SM-AA-4 2,912	BA-AA-4 1,329
	FC-AA-5 0,513	SA-AA-5 5,325	CM-AA-5 1,361	SM-AA-5 3,263	BA-AA-5 3,609
	FC-AA-6 0,636	SA-AA-6 5,022	CM-AA-6 1,671	SM-AA-6 2,788	BA-AA-6 1,295
	FC-AA-7 0,589	SA-AA-7 2,501	CM-AA-7 1,705	SM-AA-7 2,774	BA-AA-7 1,804
	FC-AA-8 0,606	SA-AA-8 2,168	CM-AA-8 1,596	SM-AA-8 3,021	BA-AA-8 1,590
	FC-AA-9 0,553	SA-AA-9 2,900	CM-AA-9 1,677	SM-AA-9 3,148	BA-AA-9 1,474
	FC-AA-10 0,598	SA-AA-10 4,304	CM-AA-10 1,326	SM-AA-10 3,303	BA-AA-10 1,341
Média (%)	0,5656	2,913	1,477	3,543	1,804
Valor máximo (%)	0,636	5,325	1,705	7,324	3,609
Valor mínimo (%)	0,510	1,451	1,036	2,774	1,295

B Determinação da absorção de água por capilaridade

Através dos gráficos da Figura B.1 e Figura B.2 visualizam-se os coeficientes de absorção ao longo do tempo para as regiões SA, CM, SM e BA, na direção normal e paralela.

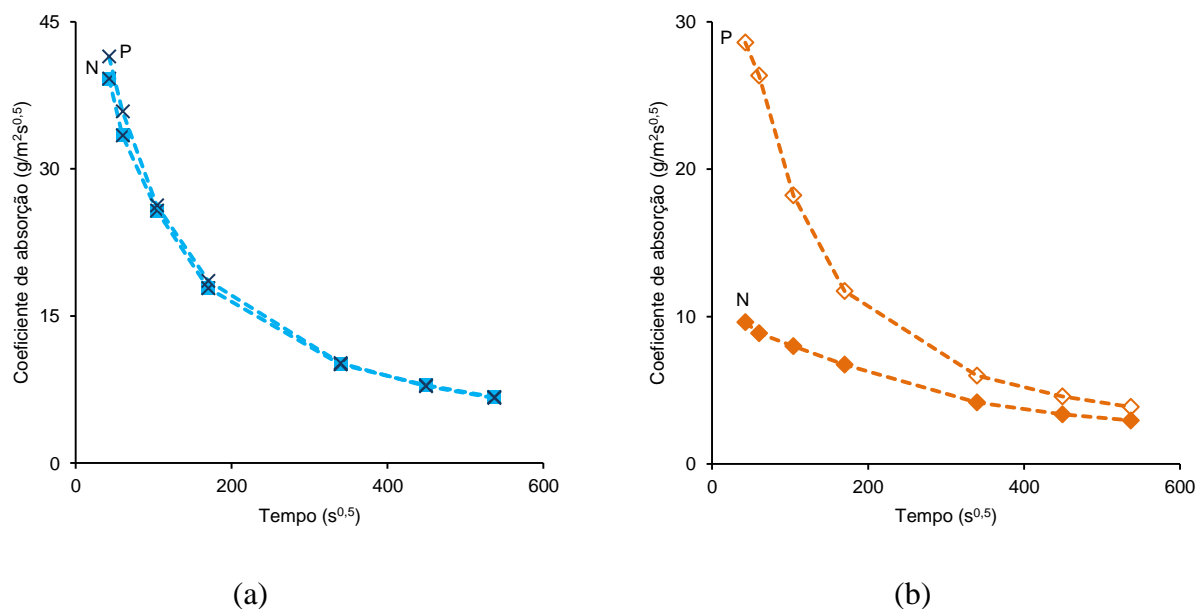


Figura B.1 – Coeficiente de absorção de água na direção normal e paralela para a região da: (a) Serra de Arga; (b) de Carrazedo de Montenegro.

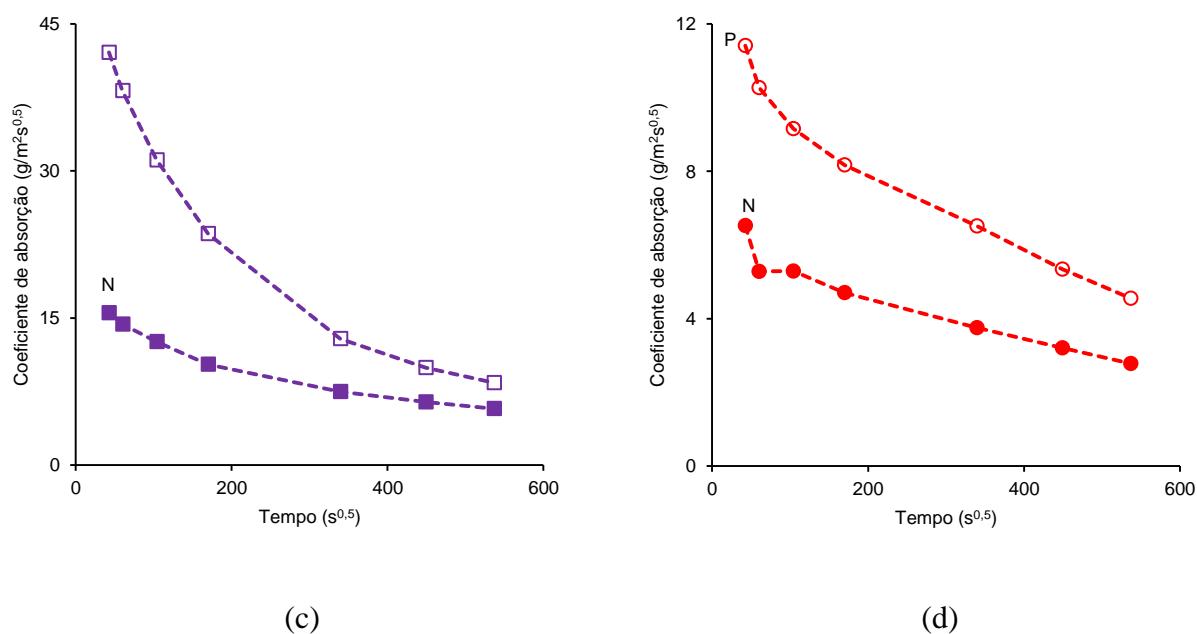


Figura B.2- Coeficiente de absorção de água na direção normal e paralela para a região de: (c) Sobral de São Miguel; (d) Barqueiros.

Os gráficos da Figura B.3, Figura B.4, Figura B.5 e Figura B.6 representam a absorção de água por capilaridade e a variação de massa em função do tempo, na região SA, CM, SM e BA, para a direção normal e paralela aos planos de anisotropia.

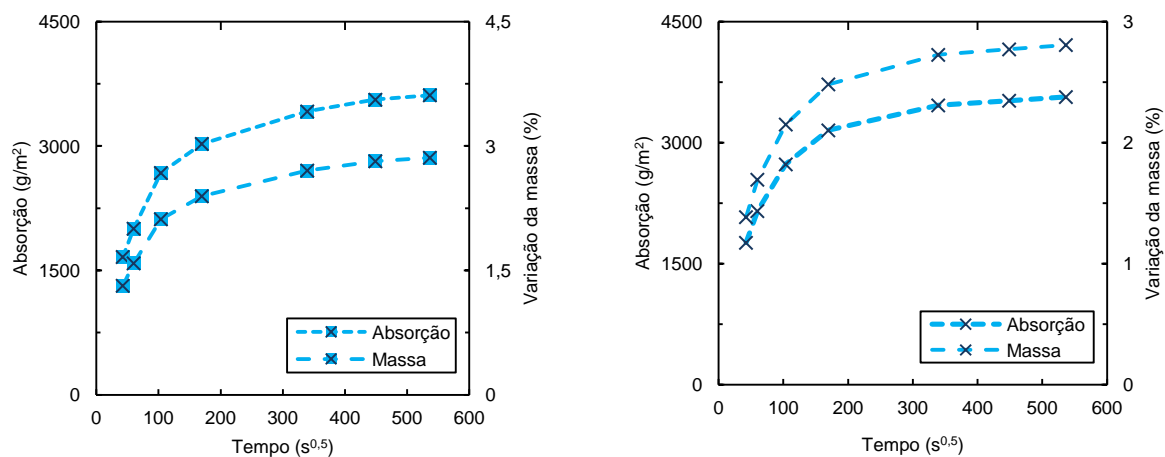


Figura B.3 - Absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela aos planos de anisotropia em provetes de Serra de Arga.

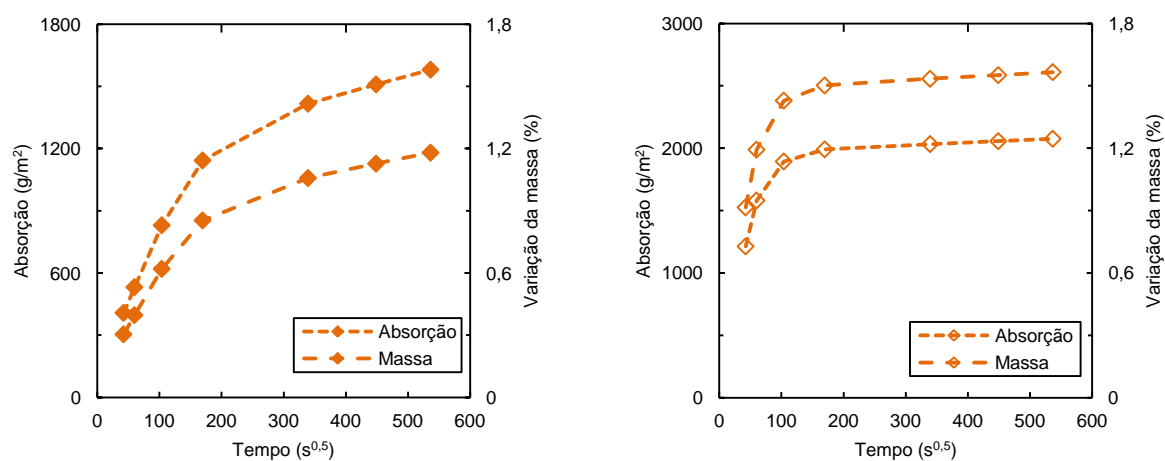


Figura B.4 - Absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela aos planos de anisotropia em provetes de Carrazedo de Montenegro.

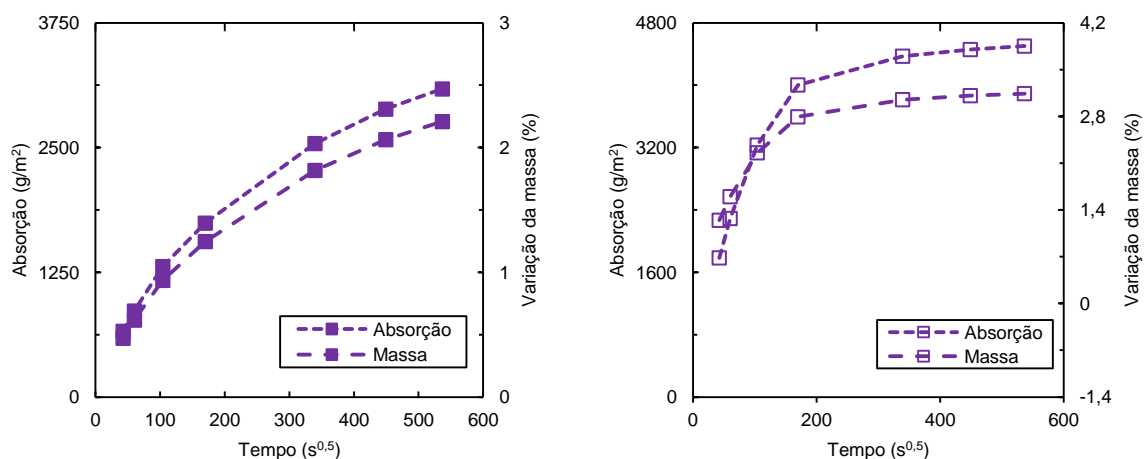


Figura B.5 - Absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela aos planos de anisotropia em provetes de Sobral de São Miguel.

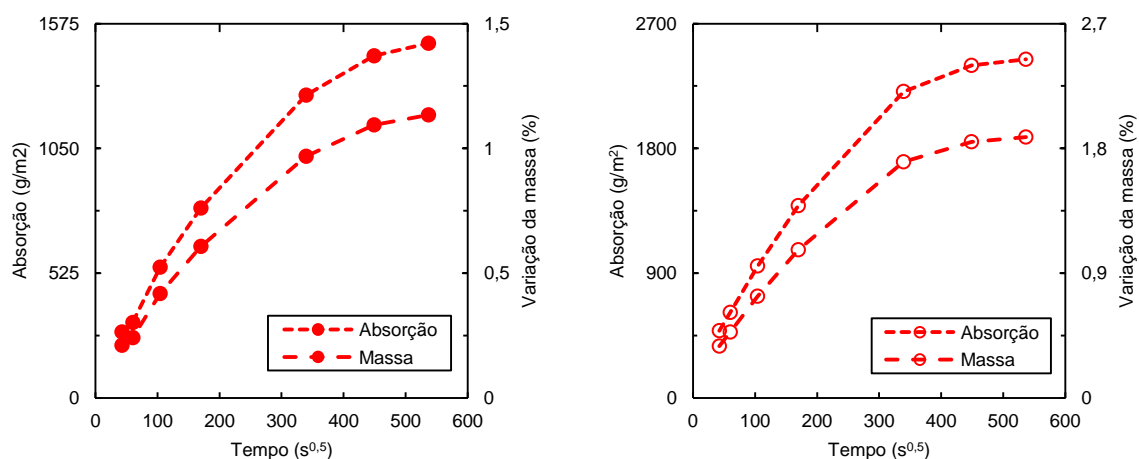


Figura B.6 - Absorção de água por capilaridade na direção normal e paralela aos planos de anisotropia em provetes de Barqueiros.

C Determinação da velocidade de ultrassons

Na Tabela C.1 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de velocidade de propagação dos ultrassons para cada um dos provetes das 5 regiões em estudo, na direção normal e paralela s_1 e s_2 aos planos de anisotropia.

Tabela C.1 - Resultados do ensaio de velocidade de propagação dos ultrassons na direção normal e paralela s_1 e s_2 aos planos de anisotropia.






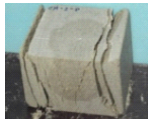

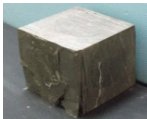










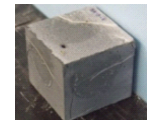

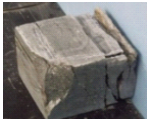






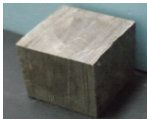











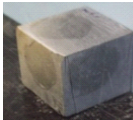








Região	Vila Nova de Foz Côa			Serra de Arga			Carracedo de Montenegro		
	\perp	// ₁	// ₂	\perp	// ₁	// ₂	\perp	// ₁	// ₂
	FC-US-S0-1 4032,0	FC-US-S1-1 4587,0	FC-US-S2-1 5837,0	SA-US-S0-1 2668,7	SA-US-S1-1 3490,0	SA-US-S2-1 4507,7	CM-US-S0-1 2380,0	CM-US-S1-1 2626,0	CM-US-S2-1 5617,0
	FC-US-S0-2 4237,0	FC-US-S1-2 4385,0	FC-US-S2-2 5617,0	SA-US-S0-2 3131,3	SA-US-S1-2 3480,0	SA-US-S2-2 3732,7	CM-US-S0-2 1111,3	CM-US-S1-2 2982,0	CM-US-S2-2 3393,3
	FC-US-S0-3 3409,0	FC-US-S1-3 4385,0	FC-US-S2-3 5638,3	SA-US-S0-3 3458,7	SA-US-S1-3 3740,3	SA-US-S2-3 4588,3	CM-US-S0-3 2101,3	CM-US-S1-3 2422,7	CM-US-S2-3 5319,0
	FC-US-S0-4 3807,0	FC-US-S1-4 4587,0	FC-US-S2-4 5952,0	SA-US-S0-4 3164,0	SA-US-S1-4 3174,0	SA-US-S2-4 3640,3	CM-US-S0-4 1087,0	CM-US-S1-4 2787,7	CM-US-S2-4 3496,0
	FC-US-S0-5 3667,0	FC-US-S1-5 4385,0	FC-US-S2-5 5659,7	SA-US-S0-5 813,0	SA-US-S1-5 2699,3	SA-US-S2-5 3105,0	CM-US-S0-5 1923,0	CM-US-S1-5 2242,0	CM-US-S2-5 4854,0
	FC-US-S0-6 2958,0	FC-US-S1-6 4587,0	FC-US-S2-6 5952,0	SA-US-S0-6 1320,0	SA-US-S1-6 2362,0	SA-US-S2-6 2460,7	CM-US-S0-6 999,7	CM-US-S1-6 2856,7	CM-US-S2-6 3204,7
	FC-US-S0-7 3012,0	FC-US-S1-7 4385,0	FC-US-S2-7 5617,0	SA-US-S0-7 2551,7	SA-US-S1-7 3199,0	SA-US-S2-7 3505,0	CM-US-S0-7 1010,3	CM-US-S1-7 3086,0	CM-US-S2-7 3504,3
	FC-US-S0-8 4000,0	FC-US-S1-8 4201,0	FC-US-S2-8 5617,0	SA-US-S0-8 2160,7	SA-US-S1-8 2483,7	SA-US-S2-8 3562,7	CM-US-S0-8 1051,7	CM-US-S1-8 2757,3	CM-US-S2-8 3456,7
	FC-US-S0-9 3703,3	FC-US-S1-9 4573,0	FC-US-S2-9 5617,0	SA-US-S0-9 2491,7	SA-US-S1-9 2577,3	SA-US-S2-9 4545,7	CM-US-S0-9 1079,7	CM-US-S1-9 2890,0	CM-US-S2-9 3267,0
	FC-US-S0-10 4098,3	FC-US-S1-10 4213,0	FC-US-S2-10 5617,0	SA-US-S0-10 1049,3	SA-US-S1-10 2476,0	SA-US-S2-10 4179,0	CM-US-S0-10 1817,7	CM-US-S1-10 2302,3	CM-US-S2-10 5102,0
Média	3692,4	4428,8	5712,4	2280,9	2968,2	3782,7	1456,2	2695,3	4121,4
Valor máximo	4237,0	4587,0	5952,0	3458,7	3740,3	4588,3	2380,0	3086,0	5617,0
Valor mínimo	2958,0	4201,0	5617,0	813,0	2362,0	2460,7	999,7	2242,0	3204,7

Região	Sobral de São Miguel			Barqueiros		
	⊥	// ₁	// ₂	⊥	// ₁	// ₂
	SM-US-S0-1 1028,0	SM-US-S1-1 5050,0	SM-US-S2-1 5319,0	BA-US-S0-1 1965,7	BA-US-S1-1 4587,0	BA-US-S2-1 4587,0
	SM-US-S0-2 591,3	SM-US-S1-2 5319,0	SM-US-S2-2 5319,0	BA-US-S0-2 2428,3	BA-US-S1-2 4587,0	BA-US-S2-2 4838,3
	SM-US-S0-3 -----	SM-US-S1-3 -----	SM-US-S2-3 -----	BA-US-S0-3 2431,7	BA-US-S1-3 5050,0	BA-US-S2-3 5617,0
	SM-US-S0-4 633,3	SM-US-S1-4 5319,0	SM-US-S2-4 5338,0	BA-US-S0-4 2415,0	BA-US-S1-4 4838,3	BA-US-S2-4 5357,0
	SM-US-S0-5 -----	SM-US-S1-5 -----	SM-US-S2-5 -----	BA-US-S0-5 1835,7	BA-US-S1-5 4398,0	BA-US-S2-5 4587,0
	SM-US-S0-6 861,7	SM-US-S1-6 5084,7	SM-US-S2-6 5319,0	BA-US-S0-6 2717,0	BA-US-S1-6 5050,0	BA-US-S2-6 5617,0
	SM-US-S0-7 614,7	SM-US-S1-7 5050,0	SM-US-S2-7 5067,3	BA-US-S0-7 2594,7	BA-US-S1-7 4807,0	BA-US-S2-7 5319,0
	SM-US-S0-8 425,0	SM-US-S1-8 5050,0	SM-US-S2-8 5139,7	BA-US-S0-8 1791,7	BA-US-S1-8 4807,0	BA-US-S2-8 5376,0
	SM-US-S0-9 489,3	SM-US-S1-9 5319,0	SM-US-S2-9 5319,0	BA-US-S0-9 2883,3	BA-US-S1-9 5050,0	BA-US-S2-9 5638,3
	SM-US-S0-10 365,0	SM-US-S1-10 5319,0	SM-US-S2-10 5319,0	BA-US-S0-10 2784,0	BA-US-S1-10 5050,0	BA-US-S2-10 5617,0
Média	626,0	5188,8	5267,5	2384,7	4822,4	5255,4
Valor máximo	1028,0	5319,0	5338,0	2883,3	5050,0	5638,3
Valor mínimo	365,0	5050,0	5067,3	1791,7	4398,0	4587,0

D Determinação da resistência à compressão

Na Tabela D.1 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão para cada um dos provetes das 5 regiões em estudo, na direção normal e paralela aos planos de anisotropia.

Tabela D.1 - Resultados do ensaio de resistência à compressão na direção normal e paralela aos planos de anisotropia.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros		
Direção	Normal	Paralela	Normal	Paralela	Normal	Paralela	Normal	Paralela	Normal	Paralela	
Resistência à compressão (MPa)	FC-RC-N-1  150,68	FC-RC-P-1  153,28	SA-RC-N-1  53,56	SA-RC-P-1  41,96	CM-RC-N-1  83,24	CM-RC-P-1  98,68	SM-RC-N-1  38,92	SM-RC-P-1  25,08	BA-RC-N-1  113,44	BA-RC-P-1  67,96	
	FC-RC-N-2  162,28	FC-RC-P-2  155,64	SA-RC-N-2  59,12	SA-RC-P-2  61,64	CM-RC-N-2  65,76	CM-RC-P-2  85,04	SM-RC-N-2  76,8	SM-RC-P-2  40,32	BA-RC-N-2  152,56	BA-RC-P-2  73,24	
	FC-RC-N-3  130,6	FC-RC-P-3  133,24	SA-RC-N-3  33,56	SA-RC-P-3  26,32	CM-RC-N-3  85,64	CM-RC-P-3  71,2	SM-RC-N-3  76,6	SM-RC-P-3  43,0	BA-RC-N-3  173,08	BA-RC-P-3  69,08	
	FC-RC-N-4  123,48	FC-RC-P-4  177,8	SA-RC-N-4  50,52	SA-RC-P-4  58,48	CM-RC-N-4  82,12	CM-RC-P-4  95,28	SM-RC-N-4  75,56	SM-RC-P-4  40,0	BA-RC-N-4  117,68	BA-RC-P-4  111,76	
	FC-RC-N-5  157,68	FC-RC-P-5  139,56	SA-RC-N-5  33,2	SA-RC-P-5  38,52	CM-RC-N-5  78,76	CM-RC-P-5  141,96	---	---	BA-RC-N-5  154,88	BA-RC-P-5  120,92	
	Média (MPa)	144,944	151,904	45,992	45,384	79,104	98,432	53,576	29,68	142,328	88,592
	CV(%)	0,12	0,11	0,26	0,32	0,1	0,27	0,35	0,27	0,18	0,29

E Determinação da carga de ponta

Na Tabela E.1 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de carga de ponta para cada um dos provetes das 5 regiões em estudo, na direção normal e paralela aos planos de anisotropia.

Tabela E.1 - Resultados do ensaio de carga de ponta na direção normal e paralela aos planos de anisotropia.






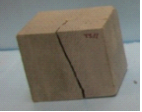

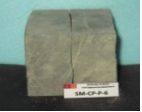












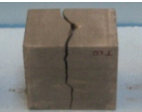
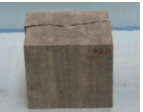
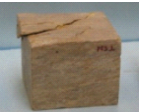







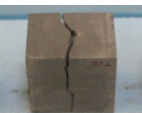







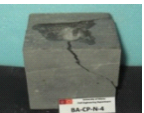











Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Arga		Carrizado de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
	Normal	Paralela	Normal	Paralela	Normal	Paralela	Normal	Paralela	Normal	Paralela
Provetes (Is)	FC-CP-N-1	FC-CP-P-1	SA-CP-N-1	SA-CP-P-1	CM-CP-N-1	CM-CP-P-1	SM-CP-N-1	SM-CP-P-1	BA-CP-N-1	BA-CP-P-1
										
	6,2	4,4	1,6	1,2	2,0	1,6	3,5	0,4	3,2	2,5
	FC-CP-N-2	FC-CP-P-2	SA-CP-N-2	SA-CP-P-2	CM-CP-N-2	CM-CP-P-2	SM-CP-N-2	SM-CP-P-2	BA-CP-N-2	BA-CP-P-2
										
	5,4	4,8	1,4	1,2	1,6	1,2	1,8	0,7	5,4	2,3
	FC-CP-N-3	FC-CP-P-3	SA-CP-N-3	SA-CP-P-3	CM-CP-N-3	CM-CP-P-3	SM-CP-N-3	SM-CP-P-3	BA-CP-N-3	BA-CP-P-3
										
	5,4	5,5	1,7	1,0	2,2	1,0	1,4	0,6	1,8	2,1
	FC-CP-N-4	FC-CP-P-4	SA-CP-N-4	SA-CP-P-4	CM-CP-N-4	CM-CP-P-4	SM-CP-N-4	SM-CP-P-4	BA-CP-N-4	BA-CP-P-4
										
	4,4	4,6	1,1	1,0	1,8	1,1	2,2	0,3	8,1	0,8
	FC-CP-N-5	FC-CP-P-5	SA-CP-N-5	SA-CP-P-5	CM-CP-N-5	CM-CP-P-5	SM-CP-N-5	SM-CP-P-5	BA-CP-N-5	BA-CP-P-5
										
	3,8	4,8	1,7	1,2	2,0	1,5	1,4	0,5	1,6	1,6
Média (Is)	5	4,8	1,5	1,1	1,9	1,3	2,1	0,5	4,0	1,8
C.V.(%)	18,4	8,5	17,1	9,2	12,6	21,9	42,2	29,2	68,5	36,5

Tabela E.2 - Descrição do modo de rotura verificado para os provetes FC.

Região	Vila Nova de Foz Côa		
Direção	Provete	Força (N)	Modo de rotura
Perpendicular ao plano de anisotropia	P1	15460	Rotura na direção de aplicação da carga.
	P2	13450	Rotura na direção de aplicação da carga.
	P3	13560	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P4	11050	Rotura na direção de aplicação da carga.
	P5	9550	Rotura na direção de aplicação da carga.
Paralelo ao plano de anisotropia	P1	11010	Rotura na direção de aplicação da carga.
	P2	12050	Rotura na direção de aplicação da carga com uma certa inclinação da fenda.
	P3	13700	Rotura na direção de aplicação da carga com uma certa inclinação da fenda.
	P4	11450	Rotura na direção de aplicação da carga com uma certa inclinação da fenda.
	P5	12040	Rotura na direção da aplicação da carga com a divisão do provete em três fragmentos.

Tabela E.3 - Descrição do modo de rotura verificado para os provetes SA.

Região	Serra de Arga		
Direção	Provete	Força (N)	Modo de rotura
Perpendicular ao plano de anisotropia	P1	3900	Fratura de um fragmento na face do provete.
	P2	3400	Fratura na face de um fragmento de rocha bastante espesso.
	P3	4170	Rotura de um pequeno fragmento no vértice do provete.
	P4	2750	Fratura de um fragmento na face do provete.
	P5	4300	Rotura na direção da aplicação da carga.
Paralelo ao plano de anisotropia	P1	3020	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P2	3050	Rotura na direção da aplicação da carga com a fenda ligeiramente inclinada.
	P3	2520	Rotura na direção da aplicação da carga com destacamento de um pequeno fragmento numa das faces do provete.
	P4	2540	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P5	2910	Rotura na direção da carga, embora a fenda apresente uma certa inclinação.

Tabela E.4 - Descrição do modo de rotura verificado para os provetes CM.

Região	Carrazedo de Montenegro		
Direção	Provete	Força (N)	Modo de rotura
Perpendicular ao plano de anisotropia	P1	5050	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P2	4010	Rotura com destacamento de um fragmento de rocha na parte superior do provete.
	P3	5610	Rotura com destacamento de um fragmento de rocha na parte superior do provete.
	P4	4500	Rotura com destacamento de um fragmento de rocha na parte superior do provete.
	P5	5040	Rotura na direção da aplicação da carga, no entanto apresenta um ligeiro desvio.
Paralelo ao plano de anisotropia	P1	3950	Rotura na direção da aplicação da carga, apresentando uma ligeira inclinação.
	P2	2920	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P3	2450	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P4	2630	Rotura na direção da aplicação da carga, em que uma das partes se divide em duas.
	P5	3820	Rotura na direção da aplicação.










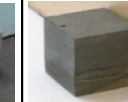




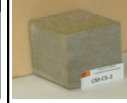














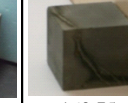

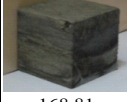






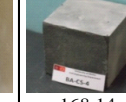
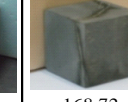











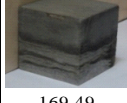








Tabela E.5 - Descrição do modo de rotura verificado para os provetes BA.

Região	Barqueiros		
Direção	Provete	Força (N)	Modo de rotura
Perpendicular ao plano de anisotropia	P1	8110	Rotura com destacamento de dois fragmentos de rocha na parte superior do provete.
	P2	13420	Rotura com destacamento de um fragmento de rocha na parte superior do provete.
	P3	4480	Rotura com destacamento de um fragmento de rocha que engloba quase metade do provete.
	P4	20310	Rotura com destacamento de um fragmento de rocha na parte superior do provete e desgaste acentuado desta devido à incisão da aplicação da carga.
	P5	3900	Rotura com destacamento de dois fragmentos de rocha na parte superior do provete.
Paralelo ao plano de anisotropia	P1	6270	Rotura na direção da aplicação da carga.
	P2	5630	Rotura na direção da aplicação da carga, no entanto é observável um desvio da fenda em relação à linha de rotura.
	P3	5180	Rotura na direção de aplicação da carga.
	P4	2010	Rotura na direção da aplicação da carga, no entanto é observável um pequeno desvio da fenda em relação à linha de rotura.
	P5	3940	Rotura na direção da aplicação da carga.

F Determinação da resistência à recristalização de sais

Na Tabela F.1 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de resistência à cristalização de sais para cada um dos provetes das 5 regiões em estudo.

Tabela F.1 - Resultados do ensaio de resistência à cristalização de sais.

Região	Vila Nova de Foz Côa		Serra de Argã		Carrazedo de Montenegro		Sobral de São Miguel		Barqueiros	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Massa inicial e final dos provetes (g)	FC-CS-1	FC-CS-1	SA-CS-1	SA-CS-1	CM-CS-1	CM-CS-1	SM-CS-1	SM-CS-1	BA-CS-1	BA-CS-1
										
	170,39	170,64	175,82	176,13	157,07	156,83	166,08	166,56	166,06	166,56
	FC-CS-2	FC-CS-2	SA-CS-2	SA-CS-2	CM-CS-2	CM-CS-2	SM-CS-2	SM-CS-2	BA-CS-2	BA-CS-2
										
	170,96	171,07	175,45	175,16	162,97	162,21	159,27	159,70	165,40	165,98
	FC-CS-3	FC-CS-3	SA-CS-3	SA-CS-3	CM-CS-3	CM-CS-3	SM-CS-3	SM-CS-3	BA-CS-3	BA-CS-3
										
	172,35	172,57	174,12	173,33	163,73	163,01	159,53	160,08	160,08	160,75
	FC-CS-4	FC-CS-P-4	SA-CS-4	SA-CS-4	CM-CS-4	CM-CS-4	SM-CS-4	SM-CS-4	BA-CS-4	BA-CS-4
										
	168,55	168,81	172,85	172,28	165,64	166,13	154,41	154,97	168,14	168,72
	FC-CS-5	FC-CS-5	SA-CS-5	SA-CS-5	CM-CS-5	CM-CS-5	SM-CS-5	SM-CS-5	BA-CS-5	BA-CS-5
										
	170,81	171,18	173,43	171,30	163,62	159,66	159,44	159,98	165,07	165,78
	FC-CS-6	FC-CS-6	SA-CS-6	SA-CS-6	CM-CS-6	CM-CS-6	SM-CS-6	SM-CS-6	BA-CS-6	BA-CS-6
										
	169,19	169,49	175,84	175,53	161,62	155,69	168,29	169,78	168,21	168,98
Média (g)	170,38	170,63	174,59	173,96	162,36	160,59	161,17	161,85	165,49	166,13
C.V. (%)	0,35		-1,31		-1,33		0,56		0,16	

